



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R73:1979**

# **Optimeringsmodell för översiktlig planering av energiförsörjning**

**Carl Mattsson**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLEN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R73:1979

OPTIMERINGSMODELL FÖR ÖVERSIKTLIG  
PLANERING AV ENERGIFÖRSÖRJNING

Carl Mattsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
750713-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Inst. för elektrisk anläggningsteknik, KTH.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R73:1979

ISBN 91-540-3039-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954693



## FÖRORD

Forskningsprojektet "Optimeringsmodell för översiktlig kommunal energiplanering" har syftat till utveckling av en teknisk-ekonomisk modell, baserad på markanvändning, som möjliggör utvärdering av de ekonomiska konsekvenserna av olika energisystem. Utgångspunkten är en geografiskt orienterad beskrivning av markanvändningen, belastningsprognos, karakteristika och ekonomi för energisystemen.

Arbetet har bedrivits sedan juli 1975 inom Forskningsgruppen för elektriska energisystem, KTH, under ledning av professor Janis A Bubenko Sr med stöd av Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR). En referensgrupp har dessutom varit knuten till projektet, vilken bistått med värdefulla synpunkter, erfarenheter och råd på projektarbetet. Referensgruppens sammansättning har varit:

Övering Rolf Stålebrant	Svenska Kommunförbundet (ordförande i ref gruppen)
Sekr Gunnar Persson	Svenska Kommunförbundet
Civing Leif Backéus	Stockholms Energiverk
Övering Lars Hannervall	Statens Vattenfallsverk
Civing Bertil Högström	Södertälje Energiverk
Planarkitekt Lars Nilsson	Stadsbyggn kontoret, Huddinge
Civing Sigvard Olsson	K-Konsult

Från BFR:s sida har först civing Stefan Sandesten och sedan arkitekt Claes Reuterskiöld ansvarat för projektet, med vilka Forskningsgruppen haft ett gott samarbete och informationsutbyte till gagn för projektarbetet. Den föreliggande rapporten utgör slutrapport på ovanstående forskningsprojekt. Dessutom har följande rapporter och artiklar utarbetats inom ramen för projektet:

- Forskningsprogram och plan för det fortsatta arbetet, oktober 1975
- Forskningsprogram, januari 1976
- Allmänna förutsättningar, oktober 1976
- Modellförslag, oktober 1976

- Lägesrapport, januari 1977
- Prognosmodell, september 1977
- Lägesrapport, januari 1978
- An optimization model for overall urban energy planning, presenterat vid IFAC 1978, Helsingfors
- Modelling of overall energy supply systems for urban areas, presenterat vid PSCC 1978, Darmstadt

Dessutom planeras att en avhandling för avläggande av teknisk doktorsexamen skall framläggas som en avslutning på forskningsprojektet.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING .....	7
1	INLEDNING .....	11
2	KOMMUNERNAS ENERGIPLANERING .....	13
	2.1 Syfte .....	13
	2.2 Organisation, mål och metoder .....	14
	2.2.1 Modell för kommunplanering .....	15
	2.2.2 Gemensamma planeringsförutsättningar .....	17
	2.3 Nuläge .....	17
	2.4 Energiförbrukning och utveckling på energiområdet .....	19
	2.5 Energiförsörjningsalternativ - ekonomi .....	20
	2.6 Handlingsprogram och prioriteringar .....	21
3	MODELLUTFORMNING .....	24
	3.1 Målsättning .....	24
	3.2 Utgångspunkter för modellformulering .....	26
	3.3 Modellformulering .....	27
4	MODELLBESKRIVNING .....	30
	4.1 Områdesavbildning .....	30
	4.1.1 Allmänt om systemavbildning .....	30
	4.1.2 Avbildning av specifika energisystem .....	31
	4.1.3 Snittytor mot omgivningen .....	33
	4.2 Prognosmodell .....	34
	4.2.1 Energiprognos .....	35
	4.2.2 Effektprognos .....	37
	4.2.3 Modellens användning, resultatpresentation och snittytor .....	38
	4.3 Optimeringsprocess .....	42
	4.4 Kostnadsfunktioner .....	45
	4.4.1 Beskrivning av kostnadsfunktioner .....	46
	4.4.2 Gränsytor mot omgivningen .....	49

4.5	Känslighetsanalys .....	51
4.5.1	<i>Explicit - indirek metod</i> .....	51
4.5.2	<i>Simuleringsmetod</i> .....	51
4.5.3	<i>Känslighetsanalysens inplacering i optimeringsmodellen.</i>	52
4.6	Resultatutvärdering .....	53
5	OPTIMERINGSMETOD .....	56
5.1	Lösningsmetod .....	57
5.1.1	<i>Implicit uppräknning</i> .....	57
5.1.2	<i>Linjärprogrammering</i> .....	60
5.1.3	<i>Speciella bivillkor</i> .....	61
5.2	Känslighetsanalys .....	64
5.3	Slutsatser .....	66
6	TESTFALL .....	68
6.1	Allmänna förutsättningar .....	68
6.1.1	<i>Energi- och effektprognos</i> .....	68
6.1.2	<i>Kostnadsfunktioner, allmänt</i> .....	71
6.1.3	<i>Individuell oljeeldning</i> .....	71
6.1.4	<i>Elsystemet</i> .....	73
6.1.5	<i>Fjärrvärmesystemet</i> .....	76
6.2	Huddinge kommun .....	77
6.2.1	<i>Resultat</i> .....	78
6.2.2	<i>Känslighetsanalys</i> .....	81
6.3	Botkyrka kommun .....	83
6.4	Slutsatser .....	86
7	UTVECKLINGSLINJER .....	87
7.1	Områden för metod- och modellutveckling .....	87
7.2	Modellanpassning .....	88
7.3	Vidgat modellkoncept .....	88
	REFERENSER .....	93
	Bilaga 1-4 .....	97

## SAMMANFATTNING

En planering för det framtida resursutnyttjandet är en väsentlig del i energihushållningen. Med tanke på bl a beröringspunkterna med annan kommunal samhällsplanering har kommunernas planansvar utvidgats till att även avse försörjning med energiresurser. I lagen om kommunal energiplanering slås fast att kommunerna i sin planering skall främja hushållningen med energi och verka för en säker och tillräcklig energitillförsel.

Energiplaneringen är ett vidsträckt begrepp som omfattar allt från inventering av det aktuella energiförsörjningsläget till upprättande av handlingsprogram avseende energitillförsel, uppvärmningsplaner, energibalanser, aktiviteter för hushållning vid energianvändning mm. Handlingsprogrammet kan dessutom innehålla en tidplan för när och på vilket sätt programmets intentioner skall förverkligas liksom en konsekvensbeskrivning beträffande ekonomi, miljö och sysselsättning.

Modellutvecklingen har baserats på energiförsörjningsproblematiken som en viktig del i planeringskomplexet, varvid målsättningen är att optimeringsmodellen skall ge möjlighet att vidga beslutsunderlaget i planeringsprocessen, till konsekvensanalys med avseende på planeringsförutsättningar samt ge förutsättningar för känslighetsanalys. Modellformuleringen utgår från översiktlig planering i kommunens delområden som en funktion av markanvändning, energi-/effektbehov, ekonomi, funktionskrav och karakteristik hos energisystemen. Utvecklingen har koncentrerats till horisontårsplanering med tidsperspektivet 10-20 år och försörjningen av el- och värmebehov för en kommun.

Den grundläggande tankegången i modellutvecklingen är att avbilda energisystemen med geografiskt relaterade kostnadsfunktioner och kapacitetsgränser i en optimeringsmodell bestående av en kommunal, överordnad beskrivning och en delområdesbeskrivning av systemen. Dessa omfattar dels de existerande systemen, dels tillkommande delar av existerande system eller nya system. Därvid möjliggörs en av-

bildning av karakteristiken hos energisystemen och en utvärdering av nödvändig systemexpansion samt motsvarande kapitalbehov. Målet är att minimera årskostnaderna som är knutna till energisystemen inkluderande såväl kapitaltjänstkostnader som drift- och underhållskostnader, vilket leder till följande problemställning:

"Hur skall ett prognoserat energibehov mötas till lägsta årskostnad med hänsyn till bl a ekonomi, tillförlitlighet och miljö?"

En energiprognos baserad på uppdelning i belastningskategorier med olika efterfrågeutveckling ligger till grund för effektprognosen. Därigenom kan investeringsbehovet fastställas i respektive delområde och i kommunen som helhet.

Optimeringsmodellen är formulerad som ett blandat heltalsprogrammeringsproblem, vilket tillåter kostnadsfunktioner med fast och rörlig effektberoende del. Funktionerna erhålles genom linjärisering av de faktiska kostnaderna. Optimeringsproblemet löses med hjälp av implicit uppräknig och en reviderad simplex-metod. Metoden erbjuder betydande möjligheter till direkt känslighetsanalys som en följd av lösningsalgoritmen. Osäkerhet i bl a behovsprognos, kapacitetsgränser och kostnadsfunktioner kan därvid utvärderas liksom energislagens marginalkostnader. Formuleringen ger även möjlighet till utvärdering av betydande förändringar i planeringsförutsättningar genom simulering.

Ett väsentligt led i modellutvecklingen är tillämpningen på olika testfall. Modellens användbarhet och behov av fortsatt utvecklingsarbete kan därvid bedömas. De testfall som använts är Huddinge kommun och Botkyrka kommun, för vilka värmeplaner upprättats. Kommunerna har sammankopplade fjärrvärmesystem och gemensam produktion. En jämförelse mellan resultaten från optimeringsmodellen och värmeplanernas rekommendationer pekar på behovet av fortsatt utvecklingsarbete avseende:

- . Analys av volymen nödvändiga indata med sikte på en anpassning till tillgängligt underlag
- . Utvärdering av vilka modellparametrar som är signifikanta för resultaten i syfte att förenkla modellen och förklara resultatskillnader



- . En utveckling mot grafisk presentation av områden, energisystem och resultat baserat på datororienterad kartgenerering

En utveckling bör i första hand riktas in mot de två första punkterna, vilket ger en snar användning av modellen. I ett längre perspektiv finns en rad andra utvecklingsmöjligheter, av vilka några redovisas nedan:

- . Interaktiva planeringsprogram med grafisk presentation
- . En utvidning av planeringskonceptet till att omfatta stokastisk och dynamisk programmering
- . En introduktion av nya koncept som ekonometriska modeller för att beakta samhällets utveckling

Dessa bör kopplas samman med ett fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete inom två angelägna områden nämligen:

- . Komplexet styrning - besparing
- . Energitillförsel i framtida energisystem





## INLEDNING

Hushållning med tillgängliga resurser har fått en allt större betydelse. Detta gäller inte minst hushållning med energitillgångar. Intresset har därvid riktats mot möjligheterna att:

- . effektivisera de befintliga energisystemen och energianvändningen
- . utnyttja inhemska energitillgångar främst de förnyelsebara

Som ett led i dessa strävanden har kommunernas planansvar vidgats. Lag om kommunal energiplanering [1] har tillkommit, vilket får ses mot bakgrund av dels kommunernas ansvar för samhällsplanering, dels kommunernas engagement inom energiområdet.

Ett av momenten i den kommunala energiplaneringen är långsiktig planering av energiförsörjningen. Utgångspunkten är idag elektrisk energi och petroleumprodukter. I ett längre tidsperspektiv tillkommer faktorer som:

- . Begränsningar i primärenergitillförsel, främst petroleumprodukter
- . Utnyttjande av ny teknik och teknologi
- . Konsekvenserna av en främjad energihushållning såsom energisparplanen [2]

I en långsiktig planering är det angeläget att dessa aspekter beaktas för att främja en säker och tillräcklig energitillförsel. Utformning och planering av energiförsörjningssystemet är beroende av tillgång på primärenergi, energianvändningens storlek och karaktär, bebyggelsens struktur samt vissa samhällsekonomiska och politiska faktorer. Problemställningen innehåller således en rad komplicerade samband, vilket accentuerar behovet av en systemorienterad analys av energiförsörjningen.

Den optimeringsmodell som formulerats avser översiktlig planering och syftar till utvärdering av frågeställningar såsom "Vad blir konsekvenserna om?". Utgångspunkten har varit att utveckla en teknisk-

ekonomisk modell baserad på en geografiskt orienterad beskrivning av markanvändningen, belastningsprognos, karakteristika och ekonomi för energisystemen.

## 2 KOMMUNERNAS ENERGIPLANERING

I takt med det ökade ansvar för samhällsservice som ålagts kommunerna av staten har planeringen fått en allt viktigare funktion i kommunernas verksamhet. Två saker tyder på att både behovet och ansvaret för planeringen även framledes kommer att öka:

1. De centrala målen i samhällspolitiken beträffande bl a full sysselsättning, snabb ekonomisk tillväxt, ekonomisk utjämning, bostäder och offentlig service.
2. De ökade kraven på hushållning med landets resurser beträffande bl a mark, vatten och energi.

En planering för det framtida resursutnyttjandet är en väsentlig del i energihushållningen. Med tanke på bl a beröringspunkterna med annan kommunal samhällsplanering är det naturligt att utvidga kommunernas planansvar till att även avse försörjning med energiresurser. En lag om kommunal energiplanering [1] infördes därför under 1977. För flertalet av kommunerna blir energiplaneringen ett nytt moment i den kommunala planeringen. En handledning i kommunal energiplanering [3] har därför utarbetats av bl a Kommunförbundet.

### 2.1 Syfte

Enligt Lagen om kommunal energiplanering skall kommunen i sin planering främja hushållningen med energi och verka för en säker och tillräcklig energitillförsel. Som ett led i detta skall kommunen undersöka förutsättningarna för och om möjligt ta tillvara samverkanslösningar med annan kommun eller betydande intressent på energiområdet. Planeringsansvaret är begränsat till de delar av energiområdet, som faktiskt omfattas av kommunens planering. I detta ligger att kommunen skall verka för en god energihushållning i den egna verksamheten.

Möjligheter att verka för en god energihushållning ligger främst i utformningen av fysisk planering, trafikplanering och upprättande av bostadsbyggnadsprogram. Kommunala beslut inom dessa planeringsområden kan direkt påverka energianvändningen och därmed energihushållningen. En

invägning av hushållningsaspekter kan därvid ske redan i planeringsprocessen. Ansvar och möjligheterna att i planeringen verka för en säker och tillräcklig energitillförsel varierar mellan kommunerna beroende på faktiskt inflytande på produktion och distribution av energi. Planeringens omfattning är således begränsad av de befogenheter och resurser som står till förfogande. Energiplaneringen bör därvid grundas på det gemensamma materialet för kommunens övriga planering och i sina resultat påverka den övriga planeringen.

Planeringen avser att mynna ut i ett handlingsprogram. Detta kan innehålla rekommendationer om hur energibehovet i kommunen skall mötas och vilka åtgärder som måste vidtagas för detta, dvs hur förväntade energiförsörjningslägen i framtiden skall mötas med hänsyn till de olika restriktioner som råder t ex:

- . Befintliga energisystem (el, olja, fjärrvärme etc)
- . Beredskapsfrågan och leveranssäkerheten
- . Geografiska och geologiska förhållanden
- . Miljövård
- . Övrig fysisk och ekonomisk planering
- . Energihushållning

En konsekvensbeskrivning beträffande ekonomi, miljö och sysselsättning bör därvid ges liksom en tidplan för genomförande av olika åtgärder för att handlingsprogrammets intentioner i sin helhet skall uppfyllas.

## 2.2 Organisation, mål och metoder

Med de organisatoriska förutsättningar som idag finns för kommunal planering är det naturligt att energiplaneringen samordnas med övrig planering inom ramen för ett kommunalt handlingsprogram. Energiplaneringen som sådan baseras på förutsättningar som är gemensamma med kommunens övriga planering, t ex:

- . Ekonomi
- . Befolkning och befolkningsprognos
- . Näringslivets utveckling
- . Bostäder och bostadsutveckling

- . Övrig bebyggelse
- . Rumslig fördelning av bebyggelse och näringsliv
- . Kommunal struktur
- . Miljö

Dessa uppgifter ger möjlighet till en bedömning av nuvarande och prognoserat energibehov i olika delar av kommunen. En logisk utveckling är då att energiplanen och de fysiska planerna samordnas redan på planeringsstadiet för att uppnå en ömsesidig påverkan.

### 2.2.1 *Modell för kommunplanering*

En rad av de kommunala besluten får långsiktiga återverkningar. Det är därför av stor vikt att de långsiktiga konsekvenserna klarlägges och redovisas för att inte begränsa kommunledningens framtida handlingsfrihet. Både planering och avvägning i samband med kommunal verksamhet kräver ett omfattande underlag. Det gäller inte minst när energihushållnings- och energitillförselaspekten skall vägas in i planeringsprocessen. Utgångspunkten för energiplaneringens inpassning i processen kan vara den modell för kommunplanering [4],[5] som utvecklats och provats av Svenska Kommunförbundet i samarbete med några försökskommuner. Modellen baseras på en kombination av ett behovsorienterat och ett resursorienterat synsätt, vari resursramar och behov av verksamhet inledningsvis klarlägges. Syftet är att all planering samordnas och inriktas mot gemensamma mål. De centrala elementen är de s k gemensamma planeringsförutsättningarna, GPF. I dessa redovisas nuvarande förhållanden, utvecklingstendenser och prognoser samt mål och riktlinjer.

Utgångspunkten för planeringen är givna förutsättningar, som anger villkor och ramar för planeringsperioden. Förutsättningarna kan vara dels gemensamma för flera förvaltningar, dels interna för en förvaltning. De gemensamma upprättas av kommunledningen och de förvaltningsinterna av respektive nämnd. De senare ger en precisering av de gemensamma förutsättningarna inom det aktuella området och förutsättningarna för den egna planeringen. En hierarkiskt indelad bild av modellen med dess ingående aktiviteter och produkter återfinns i fig. 2.1.

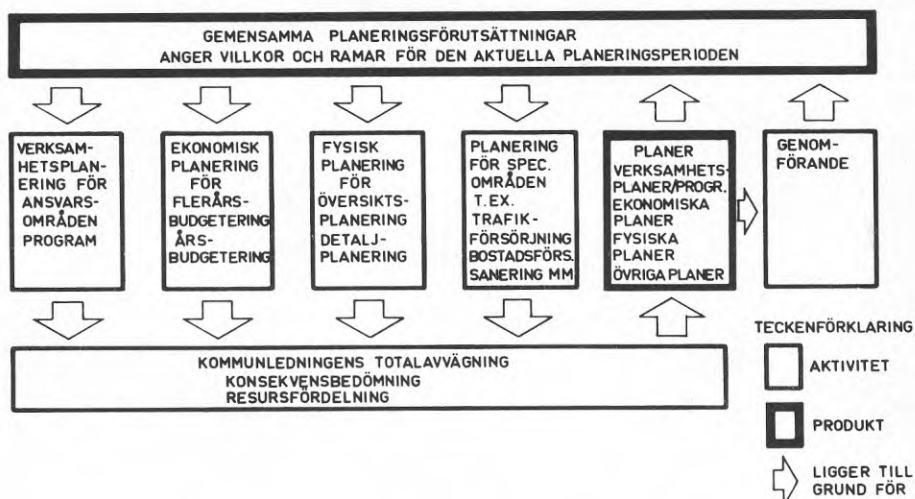


Fig. 2.1 Översiktlig beskrivning av modell för kommunplanering (ur K-kontur [5])

Planeringsprocessen är ständigt pågående under året inom kommunledning och facknämnder. Planeringsaktiviteterna är spridda över året. Vissa aktiviteter är av olika skäl bundna till bestämda perioder och ständigt återkommande såsom ekonomisk planering och verksamhetsplanering. Andra, t ex översiktlig fysisk planering, har en mer obunden förläggning och utföres enligt särskild tidsplan. Kommunledningens totalavvägningar för de bundna planeringsformerna blir därför tidsmässigt låsta, vilket inte är fallet vid de obundna, se fig. 2.2.

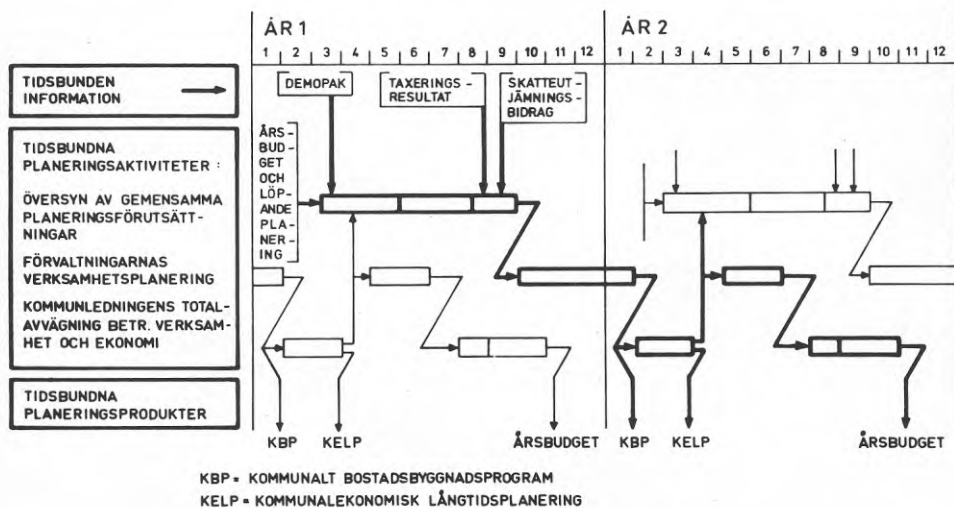


Fig. 2.2 Tidsmässig förläggning av kommunplaneringen (ur K-kontur [5])



### 2.2.2 *Gemensamma planeringsförutsättningar*

För att uppnå samordning och jämförbarhet mellan kommunens planeringsformer behövs gemensamma planeringsförutsättningar (GPF). GPF ligger till grund för verksamhetsplanering, fysisk och ekonomisk planering och ger facknämnderna nödvändig information för att bedöma bl a:

- . Behovsutvecklingen inom det aktuella området och därmed behovet av insatser inom detta
- . Tillgängliga resurser
- . Var och hur behovet av insatser skall mötas

Syftet är att GPF dels skall användas internt inom kommunen, dels ligga till grund för diskussioner med externa planeringsorgan. GPF bör utformas så att de även kan ge information till andra intressenter i kommunen. Det är därför angeläget att GPF är

- . politiskt förankrade hos beslutsfattarna
- . utformade med hänsyn till olika förvaltningars behov men samtidigt begränsade till vad som är gemensamt för förvaltningarna
- . föremål för löpande revidering

GPF bör innehålla de förtroendevaldas mål beträffande kommunens utveckling för att dessa intentioner skall få större inflytande på den långsiktiga utvecklingen. I övrigt bör innehållet bestå av följande huvudtyper av information:

- . Över- och sidoordnad planering som kan påverka kommunens planering
- . Kommunens egen planering, aktuella planer och tidigare uttalade mål
- . Underlagskartor, tidplan och planeringsarbetets uppläggning

### 2.3 Nuläge

En inventering av de rådande förutsättningarna i kommunen ligger till grund för energiplaneringen. Vissa av de nödvändiga uppgifterna är gemensamma med bl a översiktlig fysisk planering och kan inhämtas därifrån, vilket är fallet med bl a befolkningsförhållanden, bebyggelse och framtida markanvändning. En mer ingående infor-

mation om markanvändning är nödvändig i de skeden av planeringen, då en omedelbart förestående utbyggnad skall dimensioneras. Bostadsbyggnadsprogrammet kan här ge den nödvändiga informationen.

Dessa s k gemensamma planeringsförutsättningar ger en bild av de fysiska förhållanden som råder för energiplaneringen. Inventeringen måste också omfatta de befintliga energisystemen och avser uppgifter såsom:

- . Geografisk utsträckning
- . Kapacitet
- . Utnyttjningstid
- . Specifika effekt- och energibehov
- . Abonnenttyper
- . Sammanlagring
- . Verkningsgrad
- . Anläggningarnas nuvarande skick

Samtidigt med energiförsörjningssidan måste också verksamhetssidan belysas. I de fall där kommunen är ansvarig kan dessa uppgifter vanligen tas från verksamhetsplaneringen. I de fall ett privat ansvar föreligger kan problem uppkomma, eftersom insyn i privat företagsamhet av konkurrensskäl mött motstånd. De uppgifter som rör verksamhetssidan är bl a:

- . Personella och andra resurser
- . Drift- och underhållskostnader
- . Kapitaltjänstkostnader
- . Planerade investeringar
- . Energipriser
- . Taxor

Inventeringen innefattar även de miljömässiga förutsättningarna för energiförsörjningen och kan avse bl a:

- . Spridning av luftföroreningar
- . Förutsättningar för energilagring (oljedepåer, kollager, etc)
- . Varmvattenutsläpp

I samband med miljöfrågorna bör förutsättningarna för både utnyttj-



ning av spillvärme från industriella processer och kraftvärmeproduktion undersökas. Inventeringen bör resultera i en nulägesbeskrivning. För kommunområdets nuvarande energiförsörjning bör en energibalans upprättas. Åtgärder vidtagna i beredskapssyfte kan beskrivas liksom organisation och huvudmannaskap för energiförsörjningen.

## 2.4 Energiförbrukning och utveckling på energiområdet

Planeringsperioden är av grundläggande betydelse, eftersom en samordning skall ske mellan kommunens fysiska, tekniska och ekonomiska planering. Planeringsperioden påverkar även omfattningen och noggrannheten i planerings- och prognosunderlaget.

Om man ser till det kortare planeringsperspektivet, ca 5 år, uppkommer krav på en omfattande kartläggning och datainsamling i avsikt att analysera kommunens energi- och effektbehov. Detta är en följd av att i detta korta perspektiv måste energisystemen detaljplaneras för att utvärdera de ekonomiska konsekvenserna. I ett längre perspektiv finns en inneboende osäkerhet i alla prognoser, varför underlagets noggrannhet och detaljrikedom kan vara lägre.

Med utgångspunkt från den framtida markanvändningen, bostadsbyggnadsprogrammet och uppskattningar av förändringar i det befintliga bostadsbeståndet kan antalet konsumenter av olika kategorier och deras rumsliga fördelning fastställas. En vanlig metod är sedan att dela in kommunen i så homogena områden som möjligt efter bebyggelsestyp, villor, radhus, flerfamiljshus, industrier osv. Det fortsatta arbetet inriktas på att prognosera specifika effekt- och energibehovet för olika konsumenttyper. Detta tillsammans med prognoserad bebyggelse ger energi- och effektbehoven för de olika områdena. I prognosen måste hänsyn tas till inverkan av olika åtgärder för att spara energi.

Eftersom en stor osäkerhet råder om framtida anläggningskostnader, drift- och underhållskostnader, energipriser, inflation etc, bör en analys göras med olika utveckling av dessa faktorer. Detta gäller både ekonomi och effekter på energiförbrukningen.

I ett längre planeringsperspektiv, 10 å 20 år, kan en rad förändringar inträffa beträffande nya systemlösningar och tillsatsvärme i be-

byggelsen. Redan nu pågår försöksverksamhet med värmepumpar, solvärme och energisnåla byggnader. Med ny teknologi kan förutsättningarna för att utnyttja industriell spillvärme förbättras avsevärt. Dessa potentiella förändringar bör beaktas i planeringen.

## 2.5 Energiförsörjningsalternativ - ekonomi

Med utgångspunkt från inventeringen och prognosarbetet upprättas sedan handlingsprogrammet. En viktig del av programmet är rekommendationer om val av energisystem. Detta baseras på kostnaderna för att försörja de olika områdena, beredskapsfrågorna, dvs kan energi levereras vid en avspärrning av landet, och miljöeffekterna som uppkommer. För att bedöma kostnaderna måste kapaciteten hos de befintliga energisystemen jämföras med de prognoserade behoven. En otillräcklig kapacitet medför att systemet måste byggas ut. Dimensioneringen av denna utbyggnad beror på reservkapacitet, leveranssäkerhet osv. En utbyggnad i ett område belastar även det övriga systemet, varför även detta måste tas med i beräkningen både kapacitetsmässigt och kostnads- mässigt.

De faktorer som måste tas med och redovisas i dessa kalkyler är inte bara investeringarna utan även

- . kapitaltjänstkostnader
- . drift- och underhållskostnader
- . energipriser
- . taxor
- . anslutningslån
- . anslutningsavgifter

För att sedan rekommendera vilket eller vilka system som skall användas i respektive område göres en rad avvägningar och prioriteringar, av vilka några behandlas nedan.

### . *Nödvändig utbyggnadshastighet*

Vid en utbyggnad av t ex fjärrvärmesystem behövs vanligen stora investeringar på ett tidigt stadium. Den tillgängliga investeringsvolymen kan begränsa utbyggnadstakten och olika provisorier måste tillgripas för att genomföra utbyggnaden.

### . *Energiförsörjningsalternativ*

För att minimera de totala kostnaderna för försörjningen måste en kalkyl göras för de olika områdena och den fördelaktigaste kombinationen väljas med hänsyn till de restriktioner som råder. En successiv genomräkning av områdena med beaktande av förändringarna i de tidigare analyserade områdena kan då användas, vilket sedan ligger till grund för erfarenhetsmässiga bedömningar av vilket energisystem som är lämpligt.

Oavsett vilken metod som användes är resultaten beroende av osäkerheten i de antaganden som göres och det underlag som användes. En konsekvensanalys med avseende på osäkerheten i ingångsparametrar är därför angelägen.

### . *Försörjningskapacitet*

Det är viktigt i dessa sammanhang att också undersöka kommunens långsiktiga behov av ökad försörjningskapacitet för de olika systemen, eftersom denna kan begränsa valet av system eller kräva en utbyggnad av kapaciteten. En utbyggnad belastar försörjningskostnaderna för de olika områdena och måste därför beaktas. Olika möjligheter till gemensamma anläggningar med både andra kommuner och industrier kan här ge en i flera avseenden lämplig lösning.

### . *Miljö*

Vid val av energisystem måste även miljöaspekterna beaktas. I avvägningarna bör hänsyn tas till både de förbättringar av miljön, som kan vinnas genom övergång från enskild oljeuppvärmning till el- eller fjärrvärme, och de miljökrav som ställs på de planerade systemen. I samband med en utbyggnad och nybyggnad uppstår vanligen problem med olika restprodukter såsom rökgaser, spillvärme och slaggprodukter liksom transport av primärenergi. Ett annat problem, som också måste beaktas i dessa sammanhang är behovet av lagring av primärenergi såsom kol och oljeprodukter. Den kristidsberedskap som landet har ställer dock vissa minimikrav på omfattningen av lagervolymen.

## 2.6 Handlingsprogram och prioriteringar

Kommunens planeringsarbete på energiområdet bör normalt utmynna i ett

handlingsprogram, som blir föremål för beslut på politisk nivå.

Programmet bör bl a redovisa:

- . Konsumtionsprognoser
- . Uppvärmningsplaner för kommunområdet
- . Tillförsel och produktion av energi
- . Åtgärder för att främja energihushållning
- . Samverkanslösningar med kommun, industri etc
- . Nuvarande energiförsörjning och energibalanser
- . Gemensamma förutsättningar med övrig planering
- . Ekonomisk analys av energiförsörjningen
- . Konsekvenser beträffande miljö, ekonomi och sysselsättning

Den inte minst viktiga delen av handlingsprogrammet är den som behandlar olika utbyggnadsplaner. De punkter som behandlas är tidplan för genomförandet, olika provisorier för att nå slutmålet, finansieringsbehov och personalbehov för att handlingsprogrammets intentioner skall uppfyllas.

I ett långsiktigt perspektiv kan en rad förändringar inträffa, som ändrar förutsättningarna för planeringen. Det betyder att beredskapen inför tekniska förändringar i form av bl a alternativa system och nya processer måste vara god. Detta förutsätter en rullande planering med en bevakning av utvecklingen och analys av olika alternativ. Mot bakgrund av energikrisen är beredskapsfrågan också betydelsefull för val av system.

Det är således viktigt att planeringen är rullande och de lösningar som väljs ifråga om energisystem medger flexibilitet ifråga om nya tekniska lösningar och att en uppföljning av den tekniska utvecklingen sker.

Efter det att de allmänna riktlinjerna dragits upp för kommunens energiförsörjning måste en anpassning ske till de rullande femårsplanerna, dvs Ekonomisk långtidsplanering och Bostadsbyggnadsprogram. Ett samspel mellan energiplaneringsintentioner och övrig planering underlättas därvid, så att energihushållningsaspekten kan beaktas. Dessa planer är 5-åriga, vilket betyder att en utbyggnad av en del av systemet kan vara aktuell efter bara något år. En sådan utbyggnad kräver

ingående kunskap om de förhållanden som råder i det aktuella området. Handlingsprogrammet kan då innehålla rekommendationer om noggrann inventering och prognos för att systemutbyggnaden skall kunna dimensioneras.

Om de allmänna riktlinjerna leder till förslag om ny- eller utbyggnad av t ex produktionsanläggningar måste koncessions- och tillståndsfrågorna behandlas på ett tidigt stadium liksom allmänförklaring av fjärrvärmeanläggningar [6]. Samtidigt kan undersökning av markförhållandena behöva göras för anläggningens lokalisering. En initiering av dessa arbeten bör ske i handlingsprogrammet.

Energiplanering är ett vidsträckt begrepp som omfattar allt från inventering av det aktuella energiförsörjningsläget till upprättande av handlingsprogram avseende energitillförsel, uppvärmningsplaner, energibalanser, aktiviteter för att hushålla vid energianvändning mm. Att utforma en modell som omfattar hela planeringsbegreppet torde ej vara möjligt och ej heller önskvärt; det senare mot bakgrund av att beslutsprocessen och politiska avvägningar i olika situationer måste avbildas, vilket begränsar friheten i planutformningen. Målsättningen är i stället att i modellen avbilda de tekniska och ekonomiska processer som existerar, så att underlaget i beslutsprocessen vidgas.

Modellutvecklingen har därvid baserats på energiförsörjningsproblematiken som en viktig del av planeringskomplexet. De begränsningar och avgränsningar som gjorts vid modellutformningen baseras på avvägningar mellan den tänkta användningen av och målsättningen för modellen. Den grundläggande tanken är att optimeringsmodellen skall ge möjlighet till; att vidga beslutsunderlaget i planeringsprocessen, konsekvensanalys med avseende på planeringsförutsättningar samt ge förutsättningar för känslighetsanalys. Modellens användning i den kommunala energiplaneringen kan schematiskt beskrivas av figur 3.1.

### 3.1 Målsättning

Den planeringssituation som modellen skall avbilda är följande: Hur skall ett prognoserat energibehov mötas på bästa sätt med hänsyn till olika restriktioner såsom ekonomi, finansieringskrav, tillförlitlighet, miljö, nationell och kommunal energipolitik etc.

Syftet är att utveckla en teknisk-ekonomisk modell, baserad på markanvändning, som ger möjlighet till analys av de ekonomiska konsekvenserna av olika energisystem. Det primära målet är att modellen skall kunna ge svar på frågor av typen: "Vad händer om ...?". De önskvärda egenskaperna för en modell är bl a följande:



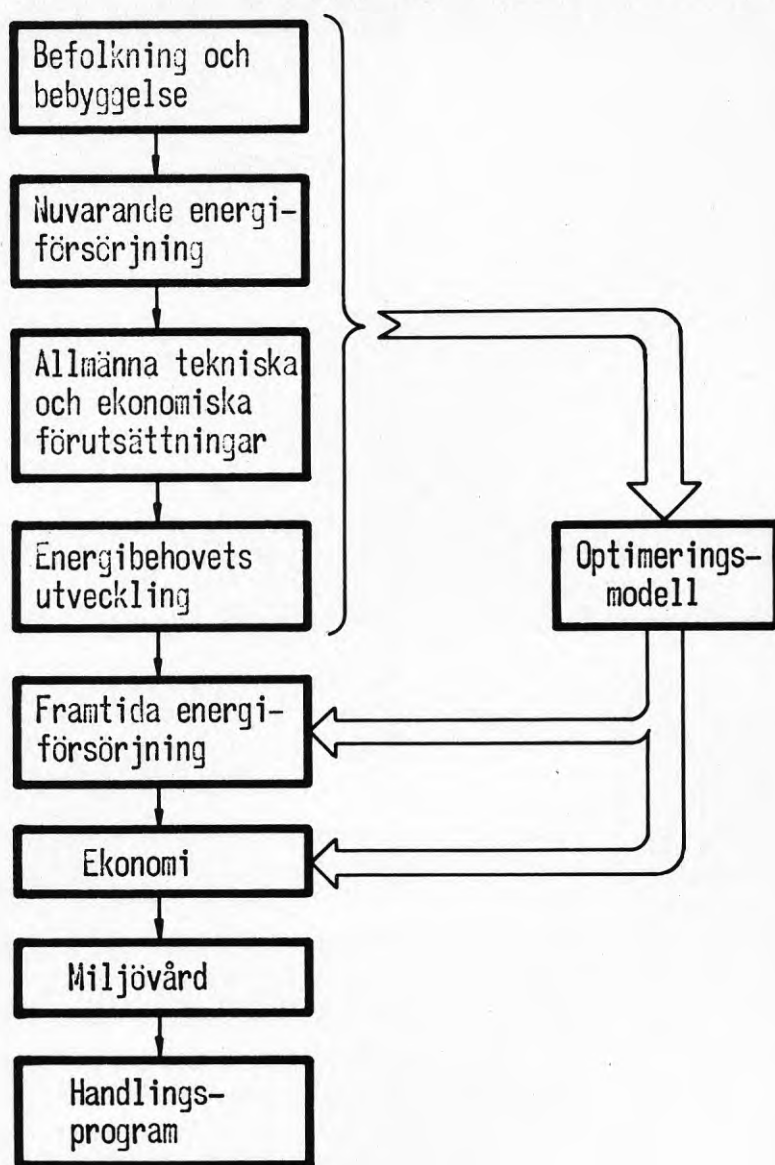


Fig. 3.1 Optimeringsmodellens inplacering i den kommunala energiplaneringen. (Utgångspunkt ProkE-gruppens 8 punkter [7] och kommunernas energiplanering [3])

- . spegla energiekonomin
- . tillåta känslighets- och konsekvensanalys av bl a osäkerhet i underlag och behov
- . anpassad till övrig kommunal planering
- . praktiskt användbar och baserad på tillgängligt underlag
- . flexibel så att nya faktorer kan inkluderas

Modellutvecklingen blir därvid en avvägning mellan bl a enkelhet och anpassning till annan planering. I ett längre tidsperspektiv, 10 å 20 år, är osäkerheten i bl a energibehov och teknisk utveckling stor. Kraven på noggrannhet i underlag kan inte ställas så höga och möjligheterna att beskriva energisystemen detaljerat reduceras avsevärt. En schematisk beskrivning kan ge en tillräcklig information mot bakgrund av osäkerhetsmomenten. En väsentlig aspekt beträffande känslighetsanalysen är möjligheten att bedöma inverkan av olika förändringar i energibehov, kostnadsbild, restriktioner och begränsningar.

### 3.2 Utgångspunkter för modellformulering

Planeringen av energiförsörjningen i en kommun kan formuleras som en tvåstegs planeringsprocess. Det första steget omfattar översiktlig planering i kommunens olika delområden som en funktion av markanvändning, energibehov, ekonomi, funktionskrav och karakteristika hos energisystemen. Det andra steget berör den aktuella konstruktionen och dimensioneringen av specifika energisystem baserad på resultaten från den föregående planeringsprocessen. Modellutvecklingen är främst koncentrerad på det första steget på horisontårsbasis och begränsad till försörjningen av el- och värmebehoven för en kommun. Kommunen anger genom markanvändningsplaner vilka områden som kan komma att exploateras för olika ändamål. Detta leder till ett energibehov som skall mötas. Problemställningen blir då följande:

"Hur skall de prognoserade energibehovet mötas till lägsta årskostnad med hänsyn till bl a ekonomi, tillförlitlighet, miljö?"

Den grundstomme till modell som presenteras nedan är anpassad till planering (kostnaden för horisontåret betraktas) med tidsperspektivet



10-20 år. Den grundläggande tankegången i modellutvecklingen är att avbilda energisystemn med geografiskt relaterade kapacitetsgränser och kostnadsfunktioner i en optimeringsmodell. Den senare är av blandad heltalsprogrammeringstyp för att kunna beakta dels fasta och rörliga kostnader avseende energiförsörjningen, dels tänkbara utbyggnadsbeslut för energiförsörjningen.

Modellen består av både en kommunal, överordnad beskrivning och en lokal delområdesbeskrivning av systemen. Dessa omfattar en beskrivning av dels de existerande systemen, dels tillkommande delar av existerande system eller nya system. Detta möjliggör en avbildning av karakteristiken hos energisystemen och en utvärdering av nödvändig systemexpansion och motsvarande kapitalbehov. Målet är att minimera årskostnaderna som är knutna till energisystemen inkluderande både kapitaltjänstkostnader och driftkostnader. Dessutom gäller:

1. Systemen är utbyggda till det förväntade kapacitetsbehovet vid slutet av planeringsperioden
2. I första hand behandlas försörjningen med ledningsbunden energi och individuell oljevärme
3. Alla beräkningar baseras på fast penningvärde och sker på årsbasis. (Beträffande kostnadstrender och inflation, se avsnittet "Kostnadsfunktioner")
4. Modellen baseras i möjligaste mån på tillgängligt underlag och är flexibel så tillkommande material kan användas i takt med att det definieras och finns tillgängligt
5. Modellutformningen är sådan att inverkan av förändringar i förutsättningar och parametrar kan analyseras, dvs möjliggöra känslighetsanalys.

### 3.3 Modellformulering

Modellens grundstomme innehåller en representation av markanvändning, behovsprognos och energisystem definierande en optimeringsmodell, figur 3.2. Beskrivningen av markanvändningen utgör en grundläggande del av modellkomplexet, eftersom den relaterar energisystemtopologi och kostnadsfunktioner till geografi och energipotentialer. Avbildningen etableras genom att kommunen delas in i en mängd delområden. Detta bestämmer strukturen i en databas, som innehåller relevant in-

formation om delområdena såsom kapacitetsgränser för energisystemen, belastningsprognos, kostnadsfunktioner och områdeskaraktäristik. Det senare kan bestå av information om bl a markförhållanden och topografi.

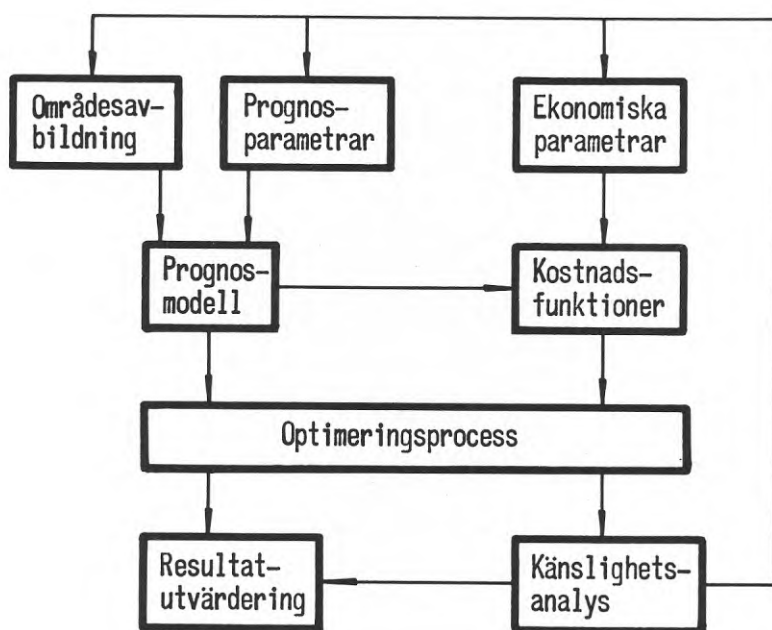


Fig. 3.2 Blockschema över de ingående delarna i en optimeringsmodell för översiktlig planering av energiförsörjningen

Förfaringssättet kan ges följande beskrivning:

1. Markanvändningen ligger till grund för prognosmodellen och detta resulterar i geografiskt lokaliserade effekt- och energibehov.
2. Markanvändningsmodellen och information om de nuvarande energisystemen ger geografiskt lokaliserade egenskaper hos de nuvarande energisystemen.
3. Markanvändningen och ekonomiska uppgifter ger sambanden mellan kostnad och energiförsörjning, geografiskt lokaliserat, för olika energisystem.

Dessa punkter utgör tillsammans med systemens funktionskrav och energipriserna underlaget för optimeringsrutinen. Resultatet blir den fördelning mellan energislag, geografiskt lokaliserad, som ger lägsta årskostnaden och samtidigt uppfyller de förutsättningar och restriktioner som ges i form av indata.

## 4 MODELLBESKRIVNING

Modellen består av dels bearbetande rutiner, submodeller, dels en optimeringsrutin. Dessa är organisatoriskt separerade för att underlätta senare modifikationer. Submodellerna bearbetar indata till lämplig form, varefter problemet löses i optimeringsalgoritmen.

Minimera: Årskostnaden för energiförsörjningen

med bivillkoren: (1) De totala behoven tillgodoses dels i delområden, dels i kommunen som helhet

(2) Elbehovet för andra ändamål än uppvärmning tillgodoses

Dessutom finns bivillkor av teknisk karaktär som beror på energisystemen samt bivillkor som beror på lösningsprocessen. Dessa redovisas nedan tillsammans med den matematiska formuleringen av problemet.

### 4.1 Områdesavbildning

Avbildning av kommunen ges av en uppsättning delområden som väljs med avseende på markanvändning, typ av konsumtion och geografisk lokalisering. Indelningen sker i syfte att erhålla homogen belastning i delområdena med hänsyn till tillgängligt underlag såsom Folk- och bostadsräkningen (FoB) [8],[9] och det s k DEMOPAK-systemet [10]. Denna statistik är geografiskt anknuten [10],[11], vilket måste beaktas vid indelningen i delområden. Dessutom har kommunerna en områdesindelning i sin planering. De fysiska planerna och speciellt markanvändningsplanerna innehåller normalt den nödvändiga informationen. Alternativt kan en polygonapproximation tillsammans med digimeterregistrering av koordinaterna användas för att beskriva delområdena [12].

#### 4.1.1 Allmänt om systemavbildning

Ett viktigt moment vid avbildningen av kommunen är beskrivningen av energisystemen. Detta sker genom geografiskt orienterade kostnadsfunk-

tioner och kapacitetsgränser. Det förstnämnda behandlas separat i avsnitt 4.3 Kostnadsfunktioner. Kapacitetsgränsen definieras som kapaciteten att försörja ett delområde eller en kommun med ett specificerat energisystem vid planeringsperiodens inledning. Kapacitetsgränser fastställs för varje betraktat energisystem, existerande eller tillkommande, dels på överordnad kommunal nivå, dels på delområdesnivå. Detta kan ske genom att använda belastningsfördelningsanalys och andra systemanalyskoncept med hänsyn till systemkarakteristika och funktion, fysiska begränsningar och reservkriterier.

En speciell problematik uppstår, när produktionsenheterna eller motsvarande i ett energisystem svarar för försörjningen till mer än den studerade kommunen. Detta kan lösas genom att dela upp den totala försörjningskapaciteten i delkapaciteter som svarar mot respektive kommun. Därefter användes endast den delkapacitet som svarar mot den studerade kommunen. Nackdelen är att gemensamma framtida investeringar i bl a produktionsenheter, typ värmeverk, mellan kommuner blir undervärderade. Även rationaliseringsvinster som kan göras genom gemensamma lösningar blir undervärderade. Alternativt kan de resterande kommunerna betraktas som delområden och ingå i optimeringsprocessen. Gemensamma satsningar ges därvid en mer korrekt återgivning; dock ökar optimeringsproblemets dimensioner. Detta orsakas av att vart och ett av de tillkommande delområdena kan försörjas med ett antal energisystem.

Energisystemen har olika karaktär och uppbyggnad, vilket påverkar sättet att bestämma kapacitetsgränserna. El- och fjärrvärmesystemen kan i nuläget sägas vara av centraliserad karaktär, vilket gör att kapacitetsgränser existerar både på delområdesnivå och överordnad kommunal nivå. Däremot avbildas ett decentraliserat system som individuell oljeeldning endast med en lokal delområdeskapacitet.

#### 4.1.2 *Avbildning av specifika energisystem*

I modellen av det elektriska systemet approximeras delområdets kapacitetsgräns till kapaciteterna hos nätstationerna eller högspänningskablar. Detta görs med hänsyn till uppställda reservkriterier. Den "kommunala" kapacitetsgränsen bestäms på motsvarande sätt genom att

aggregera samman inmatningspunkterna och produktionsenheternas kapacitet till en enda kapacitet.

Beträffande fjärrvärmesystemet approximeras delområdets kapacitetsgräns till kapaciteten hos de kulvertar som försörjer det aktuella delområdet. När den överordnade kommunala kapacitetsgränsen skall fastställas är det nödvändigt att beakta den sammansättning av produktionsenheter som råder. I allmänhet består produktionssystemen av dels stora centrala produktionsenheter, dels relativt små lokala hetvattencentraler, blockcentraler. De senare tjänar som reserv för de stora enheterna och topplastproduktion. Vanligtvis är det tillräckligt att beakta enbart de stora enheterna vid bestämningen av den överordnade kapaciteten och betrakta de små enheterna som en del av systemreserven. Hetvattencentraler, som ej är anslutna till fjärrvärmesystemet, kan även beaktas genom att de tas med i respektive kapacitetsgränser. En korrektion av kostnadsfunktionerna för systemet måste därvid göras för att beakta eventuella kostnader för anslutning till fjärrvärmenätets kulvertsystem.

Kombinerade produktionsenheter såsom kraftvärmeverk approximeras till att vara separata produktionsenheter. En utnyttjning av spillvärme från en processindustri medför speciella problem beträffande kapacitetsgränsbestämning med tanke på kopplingen mellan tillgången på spillvärme och variationerna i industriproduktion. Föreliggande leveransavtal kan ligga till grund för uppskattningar av kapacitetsgränser.

Ett decentraliserat system, typ individuell oljeeldning, avbildas endast med lokal delområdeskapacitet. Denna approximeras till den del av totalbelastningen som den försörjer vid planeringsperiodens begynnelse. I vissa fall kan kapacitetsgränserna vara svårtillgängliga eller kan komplicerade beroendeförhållanden råda mellan olika områden. Detta kan angripas genom att en begynnelseprognos för planeringsperiodens inledning göres med den nedan beskrivna prognosmodellen. Genom att specificera vilka abonnenter som försörjes från vilket system, kan försörjningsvolymen från respektive system beräknas. Kapacitetsgränsen för respektive system kan därvid approximeras till försörjningsvolymen. Korrektion för reservkriterier kan dock behöva göras.



#### 4.1.3 Snittytor mot omgivningen

Områdesavbildning baseras på information, som erhålles från kommunens planering och energisystemplanering. Det underlag som behövs är bl a:

- . Befintlig och framtida markanvändning
- . Teknisk och kartografisk beskrivning av energisystemen
- . Areala beskrivningar av delområdena

Resultaten är kapacitetsgränser och delområdesbeskrivningar. Det förstnämnda utgör underlag för uppbyggnad av bivillkorsmatrisen i den efterföljande optimeringsprocessen. Det senare utgör underlag för prognos av effekt- och energibehov i respektive delområde och i kommunen som helhet. Dessutom ligger områdesavbildning till grund för organisationen av den geografiskt orienterade databas som innehåller information om delområdena. Områdesavbildningens snittytor framgår av figur 4.1.

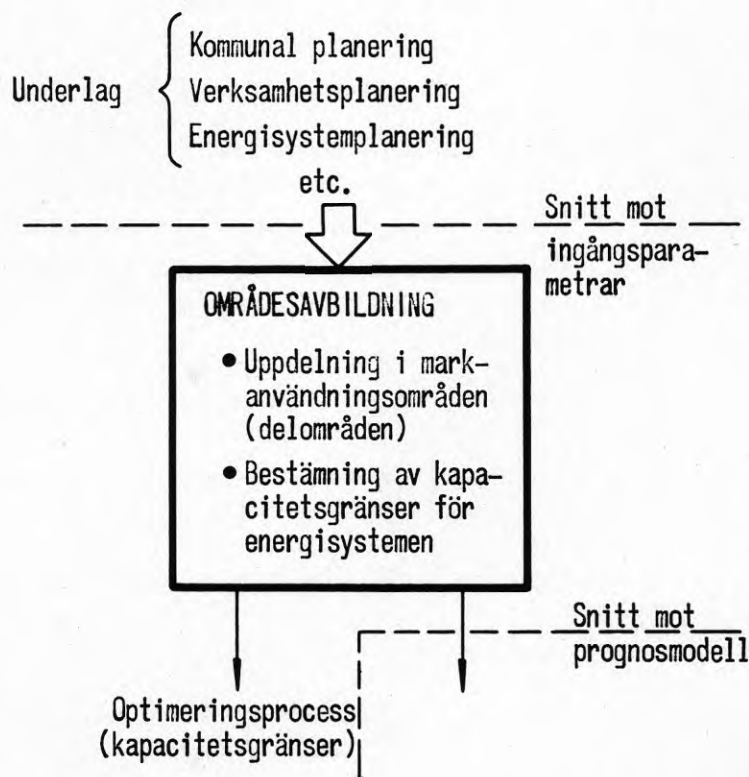


Fig. 4.1 Områdesavbildningens snittytor mot omgivningen

## 4.2 Prognosmodell

För kommunal energiplanering karakteriseras situationen av ett behov av effekt- och energiprognoser. Dessa avser både kort- och långsiktiga tidsperspektiv. Vid översiktlig energiplanering är det i första hand det långsiktiga perspektivet som är aktuellt. Prognosen avser en kommun och dess delområden och för att överensstämja med övrig långsiktig planering omspannar prognosen en period på ca 10-20 år. Prognosobjekten är effekt- och energiefterfrågan vid periodens slut. Samordningen med övrig kommunal planering gör att prognosmodellen baseras på markanvändningen. Detta ger anknytning till generalplaner och andra översiktliga planer, vilka beskriver kommunens förväntade utveckling. Efterfrågan vid prognosperiodens slut sammansätts då av dels utvecklingen i befintliga markanvändningsområden, dels utvecklingen i tillkommande områden.

Situationen kompliceras av att energiförbrukningen beror av valet av energibärare och energisystem samt att energislag inte alltid är substituerbara. Det senare leder till att förbrukningen av både substituerbara och icke substituerbara energislag prognoseras separat, dvs att förbrukningen av värme och energi för andra ändamål prognoseras separat. Eftersom prognosen skall ligga till grund för valet mellan energislag i optimeringsmodellen tillkommer också problematiken att vissa områden är bestämda att försörjas med ett visst energislag, vilket måste framkomma i prognosresultaten. Slutligen avser prognosen till abonnenten tillförd energi, för att skillnaderna mellan energislag och energisystem inte skall störa resultaten. Dessa beaktas i stället i optimeringsprocessen.

Den använda prognosmetoden baseras på en uppdelning av abonnenterna i kategorier. För att ge största möjliga anknytning till markanvändningen sker en klassifikation av belastningarna i enlighet med generalplaner och andra översiktliga planer.

En energiprognos görs för medelabbonnten i varje kategori, varvid energiförbrukningen betraktas som en stokastisk process. Beaktas antalet kategorier kan den totala prognosen göras. Med utgångspunkt från den prognoserade energin för respektive kategori beräknas en dygnsvariationskurva representativ för höglastperioden. Detta sker



med hjälp av dygnsvariationskurvans form [13],[14], säsongfaktorn och dygnsenergin. Det bör observeras att den osäkerhet som råder beträffande förverkligande av markanvändningsplaner ej beaktas i detta skede av prognosen. Detta sker som känslighetsanalys i form av simuleringar med olika förverkligande av markanvändningsplaner.

Sammanlagringen mellan olika kategorier sker genom timvis addition av de respektive dygnsvariationskurvorna. Vid dessa operationer behandlas energiförbrukningen och därmed timeffekterna som normala stokastiska processer. Metoden beskrivs närmare i rapporten "Prognosmodell" [15]. Den beskrivna prognosmetoden baseras på ett antal antaganden, varav de viktigaste är:

- Energiförbrukningen för genomsnittsabonnenten i respektive kategori kan beskrivas som en normal stokastisk process
- Väntevärdesfunktionen och kovarianskärnan är given för processen via t ex skattning
- Korrelationen inom respektive kategori är +1, vilket motiveras av att de betraktade grupperna är stora, varvid individuella avvikelser abonnenter emellan jämnas ut
- De respektive kategorierna är oberoende sinsemellan
- De timeffekter som utgör dygnsvariationskurvan är oberoende

Följande relationer antas vara deterministiska:

- Relationerna mellan årsenergi och dygnsenergi för höglastdygnet, dvs säsongfaktorn
- Dygnsvariationskurvans form

#### 4.2.1 *Energiprognos*

I en energiprognos för en kommun kan två olika typer av utveckling särskiljas, dels efterfrågeutvecklingen i den befintliga bebyggelsen, dels utveckling i den tillkommande bebyggelsen. Den senare är betydligt besvärligare att bedöma, eftersom parametrar kan förändras under prognosperioden såsom byggnadsstorlek, utrustningsstandard, uppvärmningsteknik etc. Avsikten är att behandla de två typerna av utveckling på likartat sätt. En prognos görs därvid för varje belastningskategori. Varje kategoris energibehov delas också in i två typ-

er, nämligen energibehov för värme och energibehov för andra ändamål. En prognos görs för båda dessa behov. Utgångspunkten för kategoriernas prognos är energiförbrukningen vid prognosperiodens inledning. Denna antas känd med en viss sannolikhet, vilken varierar mellan abonnentkategorierna. Prognosfunktioner, vilka varierar mellan kategorierna, relaterar sedan energiförbrukningen vid prognosperiodens slut med den som råder vid periodens inledning.

Nästa fas i prognosen är att bedöma efterfrågeutvecklingen, dvs avgöra vilken funktion som beskriver utvecklingen. Detta kan göras genom [16],[17] bl a:

- Analys av tidsseriestatistik
- Kvalificerade bedömningar av framtiden

Tidsserieanalysen utgår från statistik som rensas från allt parameterberoende som inte är ren trend, dvs säsongsvariationer, konjunkturvariationer etc skalas därvid bort [18],[19],[20]. Den så erhållna statistiken anpassas till någon trendfunktion med t ex minsta kvadratanpassning.

I ett långsiktigt planeringsperspektiv såsom vid översiktlig energiplanering är osäkerheten större i efterfrågeutveckling liksom möjligheterna till avbrott i trender erhållna från tidsserieanalyser. Sammantaget medför detta att en kombination av de ovannämnda metoderna kan vara en framkomlig väg. Härtill kommer att prognoserna måste underställas känslighetsanalys och att konsekvenserna av olika utvecklingar studeras.

De funktioner [17],[19] som i första hand kan komma till användning vid en beskrivning av efterfrågeutvecklingen är (se bilaga 1) bl a:

- Exponentiell mättnadsfunktion
- Linjär funktion med positiv eller negativ lutning
- Stegfunktion

Valet mellan de olika funktionerna kan göras dels baserat på erfarenheter och kvalificerade bedömningar, dels baserat på jämförelser mellan kurvanpassningar till tidsserier. En betydande vikt bör härvid läggas på konsekvenserna av olika åtgärder för en effektivare energi-

användning, såsom energisparplanen [2]. Underlag för dessa bedömningar kan hämtas från bl a Statens Industriverks utredningar [21], [22],[23], Energikommisionens publikationer [24],[25],[26] och andra utredningar [27].

Med utgångspunkt från prognoserna för abonnentkategorierna och belastningstyper beräknas sedan kommunens eller områdets totala energibehov genom:

- . Addition av energibehoven för n stycken abonnenter av samma kategori och belastningstyp
- . Addition av m stycken energibehov härrörande från olika kategorier och/eller belastningstyper

#### 4.2.2 *Effektprognos*

För att estimeras höglastperiodens toppeffekt för ett normalår prognoseras först energiförbrukningen. Liksom i energiprognosen är grundelementen i effektprognosen indelningen i abonnentkategorier och belastningstyper. Toppeffekten prognoseras så för var och en av dessa kategorier och belastningstyper. Med hänsyn till antalet abonnenter av respektive kategori beräknas de resulterande effekterna för kategorierna och belastningstyperna. Därefter beräknas den sammanlagda effekten dels för varje belastningstyp, dels totalt. De effekter som behandlas är sammanlagrade.

Den individuella prognosen för kategori och lasttyp sker efter i huvudsak två metoder. Den första metoden, som i normala fall kommer till användning, bygger på approximativa relationer mellan toppeffekt och årsenergi. Årsenergin för respektive abonnentkategori och belastningstyp relateras till dygnsenergin för höglastperioden med hjälp av säsongfaktorer baserade på varaktighetskurvor. Dygnsenergin används tillsammans med formen för dygnsvariationskurvan för att beräkna tim-effekterna för höglastdygnet [15].

Den andra metoden bygger på kvalificerade bedömningar av efterfrågeutveckling och kan användas vid stora punktbelastningar såsom tung industri, sjukhus etc. Uppskattning av förändringar i faktorer såsom tillverkningsprocesser och tillverkningsvolym får ligga till grund för bedömningarna.

Formuleringen av prognosmodellen är sådan att dygnsvariationskurvan definieras till sin form vid prognosperiodens slut. En första approximation är därvid att använda tillgängliga mätvärden eller liknande [14],[28]. Detta innebär att konsekvenserna av att förändra en från prognosperiodens inledning gällande kurva till en annan vid prognosperiodens slut kan analyseras. Förändringar av belastningarnas dygnsvariationskurva genom nattackumulering, belastningsstyrning eller dylikt är åtgärder som kan vara aktuella att utvärdera.

Den resulterande dygnsvariationskurvan för ett delområde eller kommunen som helhet erhålles genom timvis addition av de individuella kurvorna. Ur denna kurva bestämmes dygnets maxeffekt. Hänsyn till extrema förhållanden såsom återvändande effekt och kall vinter tas genom att ett antal standardavvikelser adderas till maxeffekten. De dimensioneringsregler som tillämpas bestämmer antalet standardavvikelser.

#### 4.2.3 *Modellens användning, resultatpresentation och snittytor*

Prognosmodellen är utformad som ett separat datorprogram. Detta gör att modellen kan användas på olika sätt. Vanligen utnyttjas modellen för att ge underlag för optimeringsprocessen genom generering av ett dataset. Parallellt erhålles också resultatutskrifter redovisande bl a prognoserad effekt och energi för varje delområde och för kommunen som helhet. Modellen kan dessutom användas separat utan koppling till optimeringsprocessen. Det är därvid möjligt att analysera konsekvenserna av olika efterfrågeutveckling, besparingsåtgärder etc. Ett exempel på den senare användningen ges i figur 4.2. I figuren redovisas resultaten från en jämförelse mellan resultat erhållna från prognosmodellen och den prognos som redovisas i Huddinges värmeplan [28]. Prognosen avser kommunen som helhet och dess värmeförbrukning. I testfall 1 råder nolltillväxt i värmeförbrukning per capita och i fall 2 0.5% årlig reduktion i värmeförbrukning per capita i hushållen. I övrigt råder samma förutsättningar som i värmeplanen. Det tredje testfallet är en minimiprognos som baseras på att endast ca 10% av markanvändningsplanerna förverkligas (i abonnenter räknat). I övrigt gäller de förutsättningar som råder i fall 2.

En konsekvens av modellutformning är att faktiska och framtida för-

sörjningsbeslut direkt avspeglas i resultaten från modellen. Detta är en nödvändighet för att korrekt kunna beakta de restriktioner som råder beträffande försörjning i delområden med olika energislag. Denna modellkonstruktion möjliggör en utvärdering av den kvantitet som ett visst energisystem försörjer. Som tidigare nämnts kan detta i brist på annan information ligga till grund för bestämmandet av kapacitetsgränser. Ett exempel på resultatutskrift, som kan illustrera detta, ges i figur 4.3.

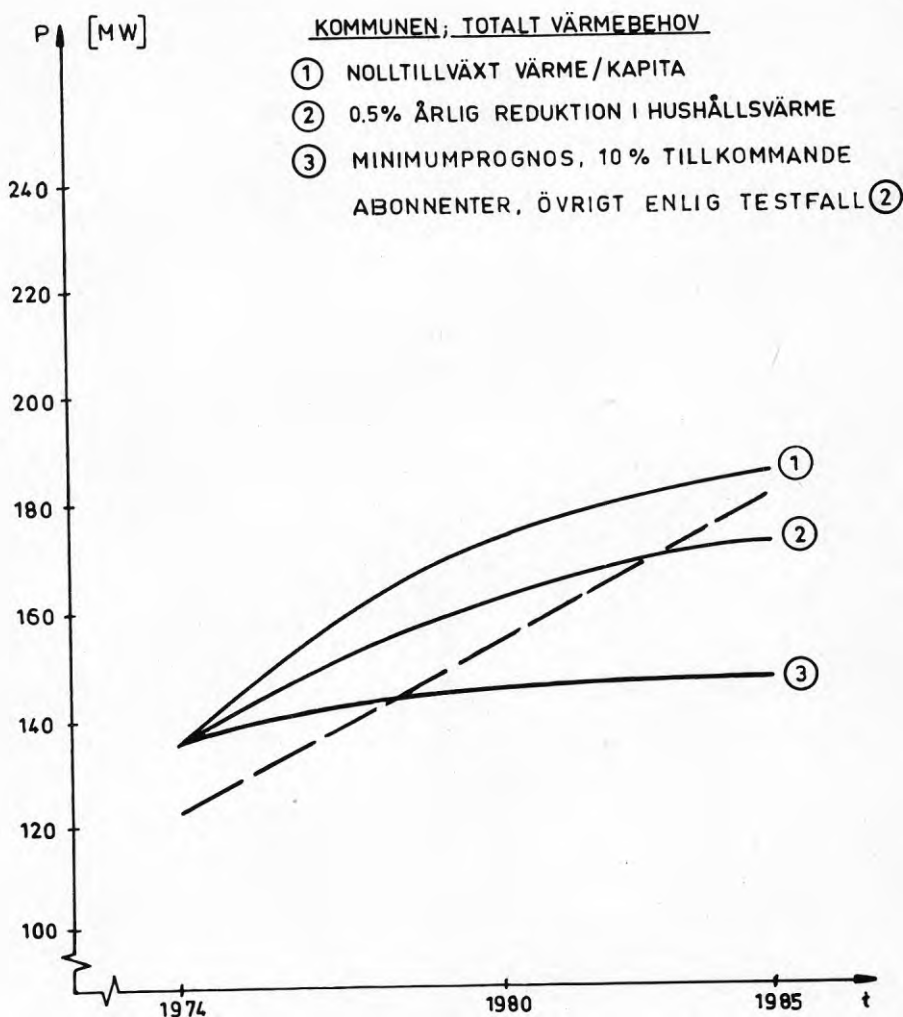


Fig. 4.2 En jämförelse mellan resultat från användning av prognosmodellen med olika förutsättningar. Som jämförelse har prognosen i motsvarande värmeplan lagts in [28].





Sammanfattningsvis kan modellens inpassning och snittytor med omgivning illustreras av figur 4.4. Denna antyder dels kopplingen till efterföljande och parallella modeller, dels kopplingen till och behovet av underlag.

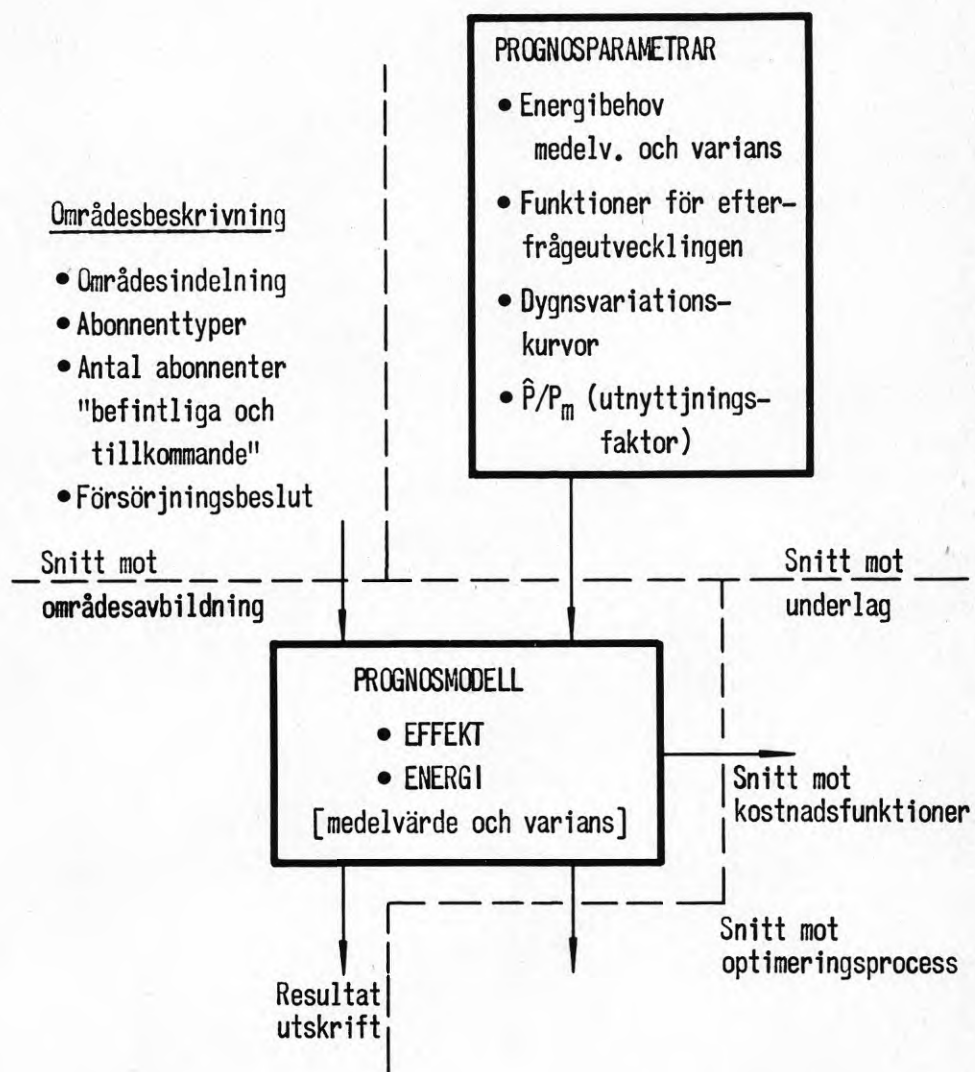


Fig. 4.4 Prognosmodellens snittytor mot indata och den övriga optimeringsmodellen

### 4.3 Optimeringsprocess

Energiförsörjningsproblemet är formulerat med målfunktionen att finna det set av existerande och framtida energisystem i delområdena som minimerar den årliga kostnaden. Optimeringsmodellen är formulerad som ett blandat heltalsprogrammeringsproblem, vilket i detta fall kan ges en flödesrepresentation enligt figur 4.5.

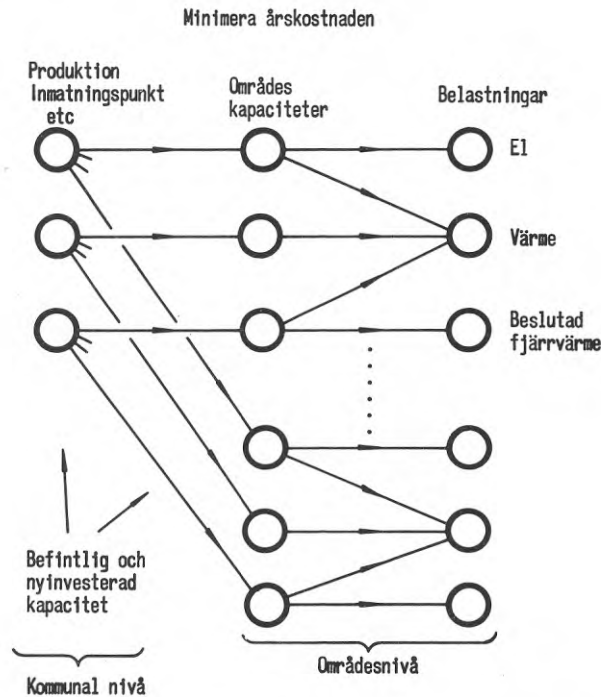


Fig. 4.5 Flödesrepresentation av optimeringsmodellen omfattande tre alternativa energisystem

Den matematiska formuleringen av modellen ger följande objektfunktion:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimera } G = & \sum_{j \in J} [a_j y_j + b_j z_j + a_j^b + \sum_{i \in I} (a_{ij} y_{ij} + b_{ij} z_{ij})] + \\
 & + c_j + d_j \sum_{i \in I} (x_{ij} + z_{ij})]
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

där

$x_j, x_{ij} \geq 0$  Flöden i delar av existerande system

$z_i, z_{ij} \geq 0$  Flöden i nya system eller tillkommande delar av existerande system

$y_j, y_{ij} = 0$  eller  $1$  Beslutsvariabler för att styra investeringar

$J = \{\text{set av energisystem}\}$

$I = \{\text{set av delområden}\}$

$j$  Enkelt index svarar mot kommunal nivå  
dvs produktionsenheter, inmatnings-  
punkter etc

$ij$  Dubbelt index svarar mot delområdes-  
nivå

$a_j^b$  Total fast kostnad för befintliga system

$a_i, a_{ij}$  Fast kostnad för investeringar

$b_i, b_{ij}$  Effektberoende kostnad för investeringar

$c_j$  Fast kostnad för produktion och/eller  
handel med effektlöde

$d_j$  Effektberoende kostnad som svarar mot  
alla rörliga kostnader som ej omfattas  
av  $b_i$  och  $b_{ij}$

Med bivillkoren

$$(a) \quad x_j + z_j = \sum_i (x_{ij} + z_{ij}) \quad (4.2)$$

Kommunens försörjning med system  $j$  skall vara lika med summan av delområdenas försörjning. Detta bivillkor existerar endast om en koppling mellan representationen på överordnad kommunal nivå och delområdesnivå finns för systemet. Förlusterna beaktas genom ökad kostnad för energinköp.

$$(b) \sum_j x_{ij} + z_{ij} = P_i \quad (4.3)$$

Summan av systemens försörjning i delområde i skall vara lika med behoven  $P_i$ .

$$(c) x_{ie} + z_{ie} \geq P_{ie} \quad (4.4)$$

Försörjningen med el skall vara större än eller lika med behoven  $P_{ie}$  av el avsett för annat än uppvärmning.

$$(d) x_{ij} \leq P_{ij} \quad (4.5)$$

$P_{ij}$  kapacitetsgräns för befintligt system j i delområde i.

$$(e) x_j \leq P_j \quad (4.6)$$

$P_j$  kapacitetsgräns för system j på kommunnivå.

$$(f) y_j = \begin{cases} 0, & \text{om } z_j = 0 \\ 1, & \text{om } z_j > 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$(g) y_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{om } z_{ij} = 0 \\ 1, & \text{om } z_{ij} > 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

Bivillkoren f och g är beslutsfunktioner för att kunna avgöra om en investering skall göras eller ej. Konsekvensen är att både fasta och rörliga kostnader för investeringen kan användas.

I många fall kan försörjningsbeslut med innebörden att ett visst område eller del av område skall försörjas med ett visst energisystem, t ex fjärrvärme. Ytterligare bivillkor adderas därvid och de erhåller följande form:

$$(h) x_{ik} + z_{ik} \geq P_{ik} \quad (4.9)$$

Försörjningen med system k i delområde i skall vara minst lika med behoven  $P_{ik}$  som ges av försörjningsbeslutet.

Optimeringsprocessens koppling till andra delar av modellen såsom prognos, resultatpresentation och känslighetsanalys ges av figur 4.6. Figuren ger dessutom behovet och typen av indata. Observera att känslighetsanalysen även ingår i optimeringsprocessen. Detta beror på att lösningsprocessen i sig innehåller information som är användbar i känslighetsanalysen, vilket redovisas i ett senare avsnitt.

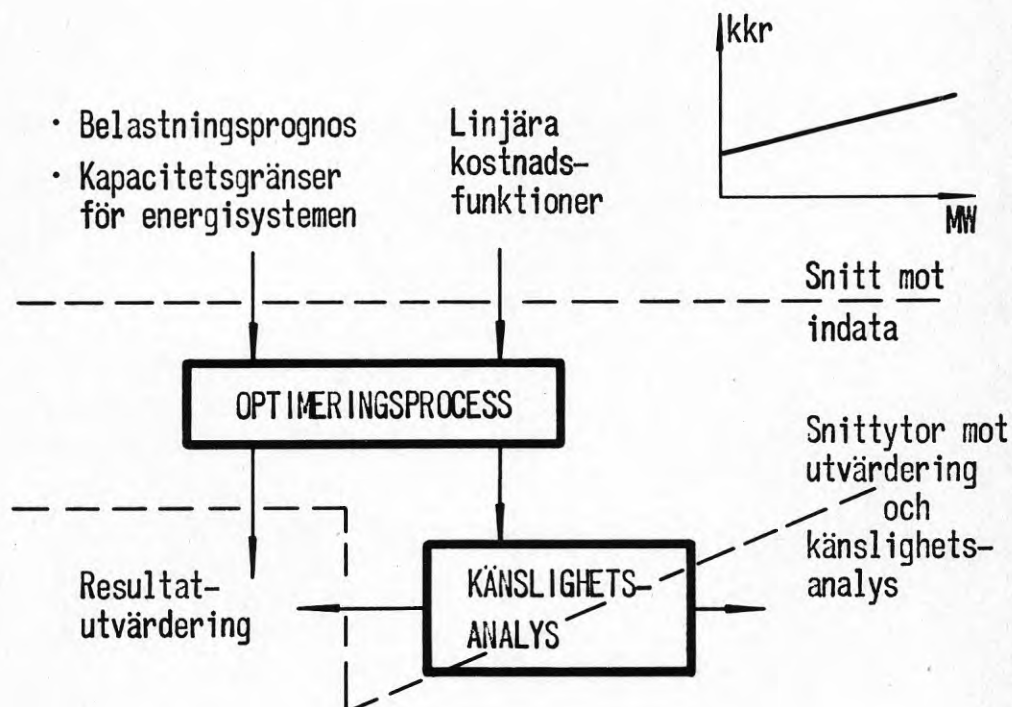


Fig. 4.6 Optimeringsprocessens koppling till nödvändiga indata och den övriga modellen

#### 4.4 Kostnadsfunktioner

Kostnadsfunktionerna utgör en väsentlig del av beskrivningen av energisystemen. De skall avspegla inte bara de till systemen direkt knutna kostnaderna utan även kostnader såsom administration, primärenergihantering etc. Kostnadsfunktionerna definieras dels på delområdesnivå,

dels på kommunal nivå. Detta sker genom att analysera och utvärdera resultaten av tidigare planerade och utbyggda områden med avseende på relationer mellan kostnader och områdeskaraktistika såsom exploateringsgrad, bebyggelsestyp etc. Alternativt kan optimal systemplanering användas.

Valet av energisystem är formulerat som ett blandat heltalsprogrammeringsproblem, vilket medför att alla kostnadsfunktioner måste linjäriseras. På grund av målsättningarna vid formuleringen av optimeringsproblemet etableras kostnadsfunktioner som dels motsvarar flöden i existerande system, dels flöden i tillkommande delar av existerande system eller framtida system.

Utgångspunkten för alla kalkyler är ett fast kostnadsläge för ett basår. För att kunna beakta prisutvecklingen görs antaganden om den relativa kostnadsutvecklingen för bl a löner, produktionsenheter etc. Dessa kan baseras på Energikommissionens betänkande [24]. I och med att investeringarna är kapitalintensiva är valet av kalkylräntesats betydelsefullt. Vanligtvis använder industrin en nominell kalkylmetod i vilken hänsyn tas till förväntad inflation. Förväntas inflationen vara hög, sätts kalkylräntan högt. Energikommissionen föreslår en användning av realränta definierad som penningräntesatsen minskad med inflationstakten. Energikommissionens tillförselgrupp har i sin rapport [29] utförligt redovisat en samhällsekonomisk metoddiskussion, som belyser konsekvenserna vid valet mellan de båda metoderna.

De funktioner som etableras för att avbilda befintliga system innehåller kostnader för bränsle, produktion och köp av energi, underhåll, administration och förluster i systemen. Avbildas nya system eller expanderande delar av existerande system tillkommer även kostnader för investeringar. De kostnadsfunktioner som användes för att avbilda energisystem på delområdesnivå är specifika för varje delområde och energisystem. Konsekvensen är att de olika delområdenas speciella karaktär såsom topologi, geografi och markförhållanden kan beaktas i kostnadsfunktionerna. Sammansättningen av de respektive funktionerna ges i den fortsatta framställningen.

#### 4.4.1 *Beskrivning av kostnadsfunktioner*

Utgångspunkten för parameterbeskrivningen är den objektfunktion som



etableras vid formuleringen av optimeringsproblemet. Baserat på ekvation (4.1) kan följande matematiska formulering av optimeringsproblemet användas:

Minimera objektfunktionen

$$G = \sum_j [A_j(x_j, y_j, z_j) + \sum_i B_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})] \quad (4.10)$$

Den första termen i objektfunktionen beskriver kostnader på överordnad kommunal nivå och sammansätts enligt följande:

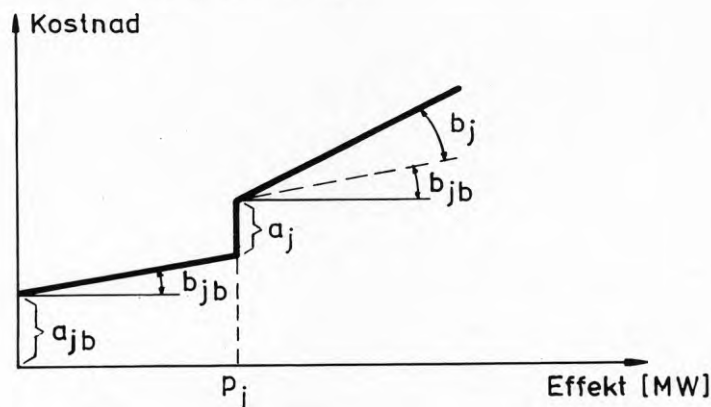
$$A_j(x_j, y_j, z_j) = a_{jb} + b_{jb} x_j + \alpha_j(a_j y_j + b_j z_j) \quad (4.11)$$

där

- $a_{jb}$  fast kostnad för befintligt system  $j$
- $b_{jb}$  rörlig kostnad för befintligt system  $j$
- $x_j$  försörjning med befintligt system  $j$
- $\alpha_j$  annuitetsfaktor som inkluderar kapitaltjänstkostnad samt drift- och underhållskostnader
- $a_j$  fast kostnad för investeringen
- $b_j$  rörlig effektberoende kostnad för investeringen
- $z_j$  ny kapacitet system  $j$  på överordnad kommunal nivå
- $y_j$  matematiskt hjälpmedel för att inkludera fast kostnad om investeringarna kommer till stånd, sådan att:

$$y_j = \begin{cases} 0, & \text{om } z_j = 0 \\ 1, & \text{om } z_j > 0 \end{cases}$$

Funktionen har följande utseende



Den del av behovet som tillgodoses med system  $j$  är  $(x_j + z_j)$ . Om andelen är lägre än kapacitetsgränsen  $P_j$  behövs inga investeringar och om gränsen överskrides blir investeringsvolymen  $a_j + b_j z_j$  ty  $z_j > 0$  och därmed  $y_j = 1$ . Om energisystemet  $j$  ännu ej byggts utan befinner sig på planeringsstadiet är kapacitetsgränsen  $P_j = 0$ . Kapacitetsgränsen bestäms enligt avsnitt 4.1.2.

Parametrarna  $a_{jb}$  och  $b_{jb}$  bestäms genom en linearisering av de befintliga systemens kostnader. Bestämningen av parametrarna  $a_j$  och  $b_j$  utgår från standardutformning av produktionsenheter och/eller mottagningsenhet: En linjärisering av det siffermaterial som kan erhållas från Elverksföreningens kostnadskatalog [30], Värmeverksföreningens publikation [31] eller motsvarande [32]. Den metod som ligger närmast till hands för behandlingen av siffermaterialet är minsta kvadratmetoden.

Den andra termen i ekvation (4.10) beskriver kostnaderna på delområdesnivå och sammansätts enligt följande:

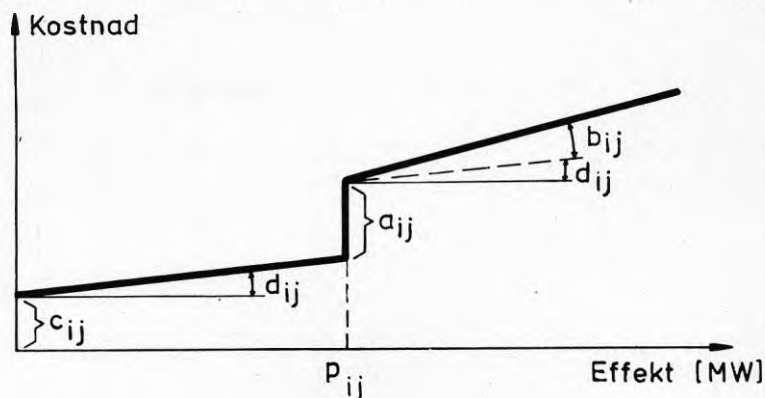
$$B_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) = c_{ij} + d_{ij}(x_{ij} + z_{ij}) + \alpha_{ij}(a_{ij} y_{ij} + b_{ij} z_{ij}) \quad (4.12)$$

där

- $c_{ij}$  fast kostnad för system  $j$
- $d_{ij}$  rörlig kostnad för system  $j$
- $x_{ij}$  försörjning med befintligt system  $j$  i område  $i$
- $\alpha_{ij}$  annuitetsfaktor som täcker kapitaltjänstkostnader samt drift- och underhållskostnader
- $a_{ij}$  fast kostnad för investeringar i område  $i$  för system  $j$
- $b_{ij}$  rörlig kostnad för investeringar i område  $i$  för system  $j$
- $z_{ij}$  ny kapacitet i område  $i$  för system  $j$
- $y_{ij}$  matematiskt hjälpmedel för att inkludera fast kostnad om investeringarna kommer till stånd, sådan att:

$$y_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{om } z_{ij} = 0 \\ 1, & \text{om } z_{ij} > 0 \end{cases}$$

Funktionen har följande utseende



Den del av försörjningen som system  $j$  svarar för i område  $i$  är  $(x_{ij} + z_{ij})$ . Om kapacitetsgränsen  $P_{ij}$  överskrides, blir investeringskostnaderna i området  $a_{ij} + b_{ij} \cdot z_{ij}$  ( $y_{ij} = 1$  ty  $z_{ij} > 0$ ). Om system  $j$  inte är utbyggt i område  $i$  är försörjningskapaciteten  $P_{ij} = 0$ .  $P_{ij}$  bestäms i enlighet med avsnitt 4.1.2.

Bestämningen av parametrarna  $a_{ij}$  och  $b_{ij}$  beror av vilket energisystem  $j$  som avbildas. Material hämtas från bl a Elverksföreningens och Värmeverksföreningens publikationer [30],[31] och [32]. Energikommissionens huvudbetänkande [24] och dess underbilagor innehåller dessutom ett omfattande material som kan användas [29],[33].

Parametrarna  $c_{ij}$  och  $d_{ij}$  bestäms genom linjärisering av de aktuella kostnaderna och svarar mot årskostnader för energi- och effekthandel, administration, förluster och övriga kostnader, som ej är att hänföra till investeringskostnader och ej täcks av de övriga funktionerna.

#### 4.4.2 Gränssytor mot omgivningen

De indata och kopplingar som finns mot omgivningen har beskrivits i framställningen ovan och illustreras av figur 4.7. De specificerade gränssytorna och den mängd och typ av data som passerar, ställer betydande krav på utformningen av "kostnadsfunktioner". Syftet är att möta kraven genom utveckling av ett dataprogram som genererar kost-

nadsfunktionerna och kommunicerar med övriga modelldelar genom data-filer.

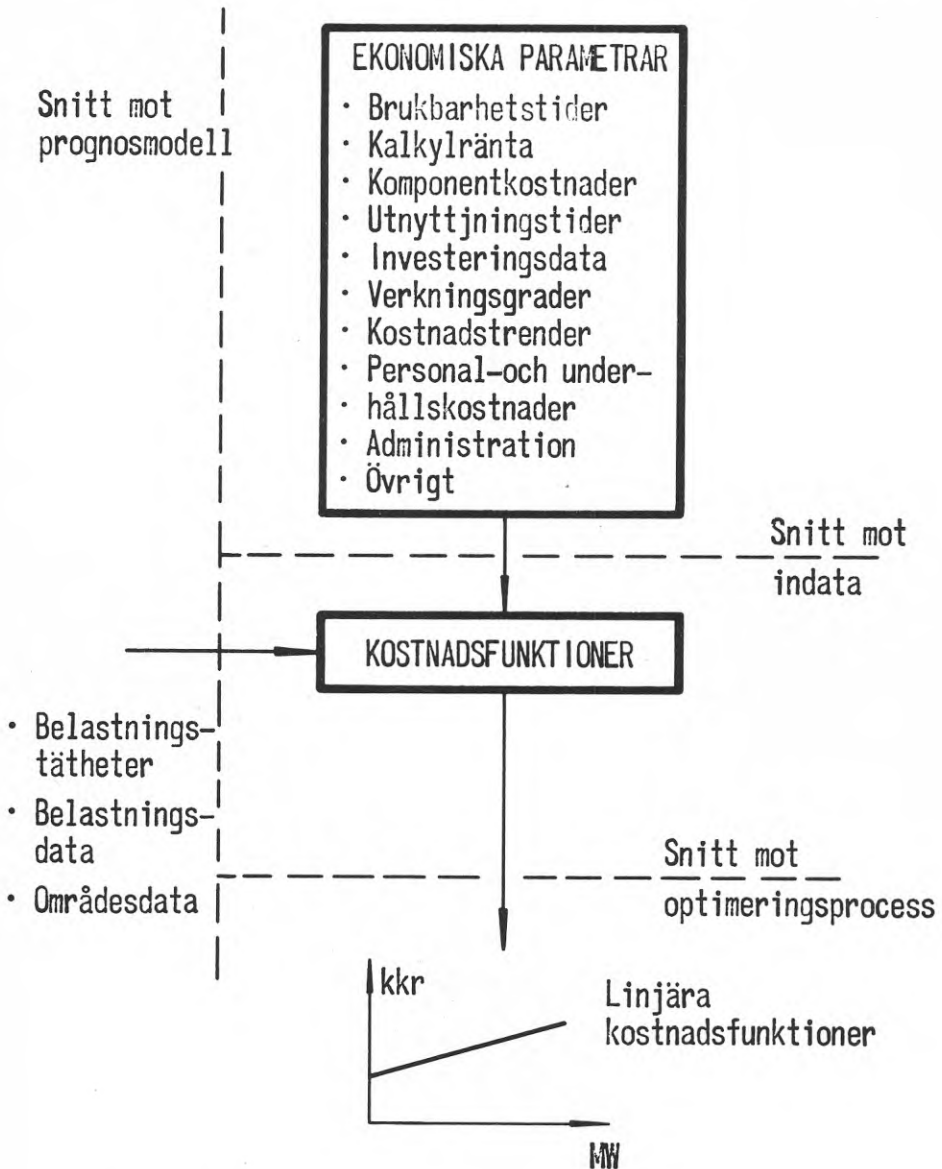


Fig. 4.7 Kostnadsfunktionernas inplacering i optimeringsmodellen samt dess resultat och nödvändiga indata

## 4.5 Känslighetsanalys

Optimeringsmodellen är formulerad med sikte på långsiktig planering med planeringsperspektiv i storleksordningen 10 å 20 år. Den faktiska utvecklingen för en så lång tidsperiod är svår att förutsäga. Belastningsutveckling, kostnadsutveckling, systemutveckling etc är således svåra att bedöma. Konsekvensen är att de prognoser och planer som upprättas beträffande energiförsörjningen är baserade på osäkra förutsättningar. En analys av konsekvenserna av denna osäkerhet är därför angelägen.

I den föreslagna optimeringsmodellen är en sådan analys inkluderad. Modellformuleringen ger möjlighet till känslighetsanalys via direkta och indirekta metoder med sikte på en utvärdering av olika faktorerers inverkan på valet av energisystem.

### 4.5.1 *Explicit - indirekt metod*

Den metod som används för att lösa optimeringsproblemet som det definieras i avsnitt 4.3 ger möjlighet till utvärdering av explicita uttryck för känslighetsanalysen. Lösningemetoden, vilken beskrivs i avsnitt 5, bygger på en kombination av implicit uppräknig [34] och linjärprogrammering enligt simplex-metoden [35].

Linjärprogrammering enligt simplex-metoden baseras på utvärdering av relativa kostnader. Utgångspunkten är att beräkna de sk simplex-multiplikatorerna, vilka kan sägas vara syntetiska kostnader med avseende på den aktuella lösningen. En förutsättning är dock att den aktuella lösningen är tillåten. Dessa simplex-multiplikatorer, vilka finns tillgängliga i lösningsprocessen, kan användas till att utvärdera kostnaderna av osäkerhet i högerledet till bivillkorsmatrisen. Eftersom dessa beror av belastningsprognosen och energisystemens kapacitetsgränser sker utvärdering därvid med avseende på dessa parametrar. En närmare beskrivning ges i avsnitt 5.

### 4.5.2 *Simuleringsmetod*

De möjligheter till känslighetsanalys som redovisats ovan och i avsnitt 5 baseras på små förändringar i olika parametrar och bivillkor. En långsiktig planering förutsätter även analys av betydande föränd-

ringar i ingångsparametrar, vilket metoderna ovan tillåter. Förändringar såsom att ett markanvändningsområde ej exploateras måste kunna analyseras. Detta sker genom att förändra ingångsparametrarna till respektive delar av modellen och sedan lösa motsvarande optimeringsproblem. Denna metod ger möjlighet till kraftigt förändrade förutsättningar beträffande kalkylränta, bränslepriser, belastningsprognoser etc. Genom att variera ingångsparametrarna och lösa ett set av optimeringsproblem kan känsligheten med avseende på dessa variationer utvärderas genom en jämförelse mellan resultaten från de respektive lösningarna. Beträffande själva utvärderingen av resultaten eller lösningarna redovisas det i avsnitt 4.6.

#### 4.5.3 Känslighetsanalysens inplacering i optimeringsmodellen

Känslighetsanalysen utgör ett viktigt moment i optimeringsmodellen. För att möjliggöra densamma måste dess inplacering i den totala modellen klargöras, vilket görs i figur 4.8. Denna beskriver förutom inplaceringen även något om de ingångsdata som är nödvändiga liksom de resultat som kan erhållas. Dessutom klarläggs också kopplingen till andra modellelement.

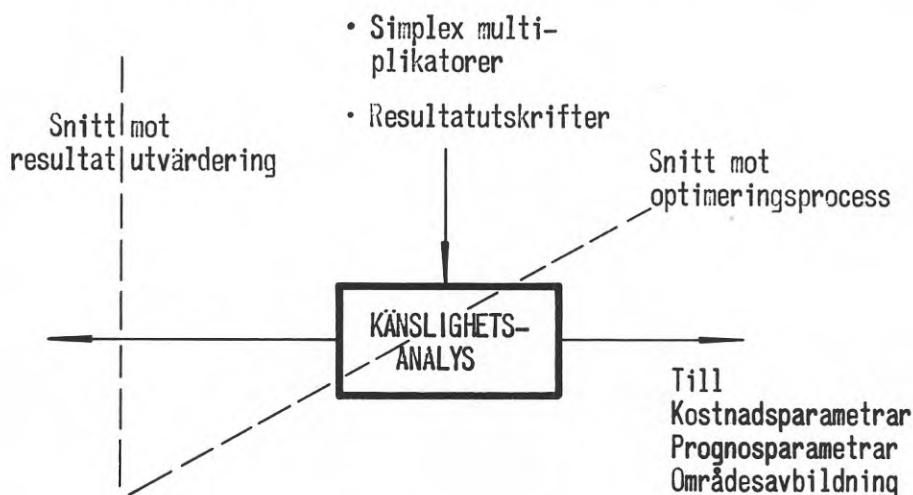


Fig. 4.8 Känslighetsanalysens koppling till andra modellelement



#### 4.6 Resultatutvärdering

Syftet är att resultaten från optimeringsmodellen skall användas i energiplaneringen och vidga beslutsunderlaget. De krav som därvid kan ställas är att relevant information presenteras och att detta sker på ett sätt, som är överskådligt och informativt. Detta får sägas vara målsättningen med resultatpresentation och utvärdering.

Optimeringsprocessen ger primärt som resultat den mängd energi/effekt som respektive energisystem levererar och motsvarande investerings- och årskostnader för delområdena och för kommunen som helhet. Ett exempel på resultatutskrift ges i figur 4.9.

I exemplet redovisas vilken belastningsprognos som gäller, varvid behoven för el, värme samt konsekvenserna av fattade försörjningsbeslut redovisas. Av ingångsparametrarna redovisas också kapacitetsgränser och kostnadsfunktioner för respektive energisystem. De resultat som presenteras i exemplet kan ses som en preliminär version och omfattar den effekt som respektive energisystem tillgodoser samt motsvarande årskostnad.

Presentationen av resultat är betydelsefull. Inom den kommunala planeringen är en presentation av planförslagen i form av kartor ett vanligt sätt. På motsvarande sätt kan resultaten från optimeringsmodellen presenteras. Ett exempel ges i figur 4.10.

En målsättning inför utvecklingen av ett programpaket för produktionskörningar är en automatisk generering av kartor. Det förutsätter dock att kommunen och dess delområden i högre grad ges en datororienterad beskrivning och att datorbaserad grafisk kartgenerering kommer till användning [51].

PROGNOS FOR OMRÅDE 13  
=====

ANTALET ABONNENTER AV RESP.TYP

TOTALT	0	60000	1466	2105	0	0	0
FJÄRRV.	0	50000	1342	1935	0	0	0
OLJA	0	0	0	0	0	0	0
EL F.UV	0	0	0	100	0	0	0

EFFEKT (KW)

TYP	EL	VARME TOT.	FJÄRRV.	OLJA
MEDELV.	10006.20	23569.21	21850.65	0.0
SIANDAV	1968.14	6214.37	5708.60	0.0

ENERGI (MWH)

TYP	EL	VARME TOT.	FJÄRRV.	OLJA
MEDELV.	33154.20	89597.00	81005.00	0.0
SIANDAV	1372.81	4852.00	4458.56	0.0

Fig. 4.9 Exempel på resultatutskrift omfattande tre energisystem

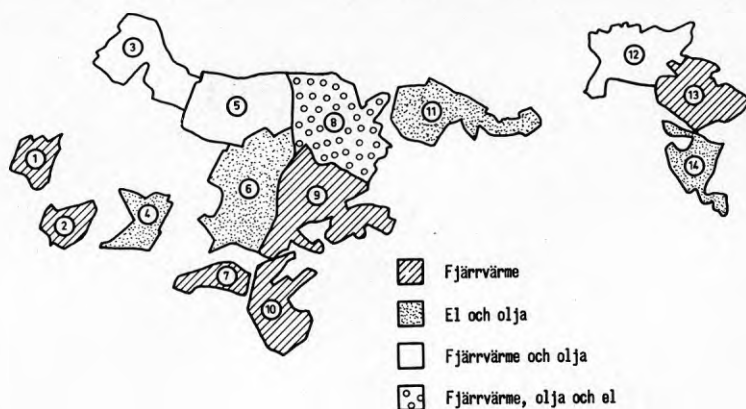


Fig. 4.10 Grafisk presentation av lösningen till ett problem omfattande tre energisystem. I figuren presenteras endast försörjningen av värmebehoven.

Formuleringen av optimeringsproblem leder till ett generellt "Fixed charge"-problem, dvs en kostnadsfunktion som innehåller fasta och rörliga kostnader skall minimeras [36],[37] och [38]. Problemet definieras av ekvation (4.1); av lösningstekniska skäl arrangeras objektfunktionen och bivillkoren om till följande: (Denna notation kommer fortsättningsvis att användas)

$$\text{Minimera} \quad G = \sum_{n \in N} (c_n x_n + d_n y_n) \quad (5.1)$$

Med hänsyn till

$$\begin{aligned} Ax &\geq b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.2)$$

där

$N = \{\text{En omnumrerad lösningsmängd som sätts samman av mängderna I och J med hänsyn till de termer och definitioner som ges i ekvation (4.1)}\}$

$A = \text{Bivillkorsmatris som sätts samman av ekvationerna (4.2) till (4.9)}$

$b = \text{Vektor som innehåller högerleden}$

$c_n, d_n = \text{Kostnadskoefficienter som sätts samman av } a_i, a_{ij}, \text{ etc}$

$x_n = \text{Effektflöde}$

$y_n = \text{Beslutsvariabel som styr investeringarna enligt följande:}$

$$y_n = \begin{cases} 0, & \text{om } x_n = 0 \\ 1, & \text{om } x_n > 0 \end{cases}$$

Matrisen  $A$  innehåller även bivillkor som beror av den valda lösningstekniken och åtgärder för att accelerera lösningsprocessen. Dessutom är bivillkorsmatrisen  $A$  gles, dvs endast ett mindre antal element är skilda från 0.

## 5.1 Lösningssmetod

Den metod som användes för att lösa optimeringsproblemet baseras på att om ett val av energisystem fixeras för varje delområde reduceras problemet till ett linjärprogrammeringsproblem (LP-problem). Detta löses med den s k "revised simplex"-metoden [35].

Beslutsvariablerna  $y_n$ , dvs heltalsvariabler, utgör det stora problemet i lösningssmetodiken, eftersom antalet alternativa beslut blir betydande, vilket leder till långa beräkningstider. Detta accentueras, när antalet beslutsvariabler ökar. En metod att nedbringa antalet alternativa beslut, som i praktiken genomräknas, är därför angeläget.

### 5.1.1 *Implicit uppräknning*

Implicit uppräknning [34] , [39] tillsammans med test av optimalitet och tillåten lösning är den metod som kommit till användning. Detta arrangeras tillsammans med linjärprogrammeringsprocessen till ett lösningsschema, vilket beskrivs i figur 5.1. Uppräknningen av lösningsvektorn, dvs tillåtna energisystem i de respektive delområdena sker i form av en trädsökning genom att generera en sekvens av partiella tilldelningar.

Utgångspunkten är uppbyggnad av ett beslutsträd [40]. Detta sker genom att i ordning välja ut de heltalsvariabler som skall finnas med i den partiella tilldelningen. Processen fortskrider tills en tillåten lösning erhållits, dvs en lösning som uppfyller alla bivillkor. En illustration ges i figur 5.2.

Samtidigt med att variablerna väljs ut, tilldelas de också värdet 0 eller 1. Den partiella tilldelningen i figur 5.2 ges av {1,0,1} och trädsökningen har följt den kraftiga linjen. Optimeringsmodellen baseras på antagandet att energisystemen kan avbildas utan signifikant koppling mellan delområden. Proceduren med partiella tilldelningar kan därför göras effektivare genom att betrakta varje delområde och motsvarande beslutsvariabel separat både vid addering och uteslutning av variabler. Addition av variabler, dvs utökning av den partiella tilldelningen, sker i enlighet med följande kriterium:

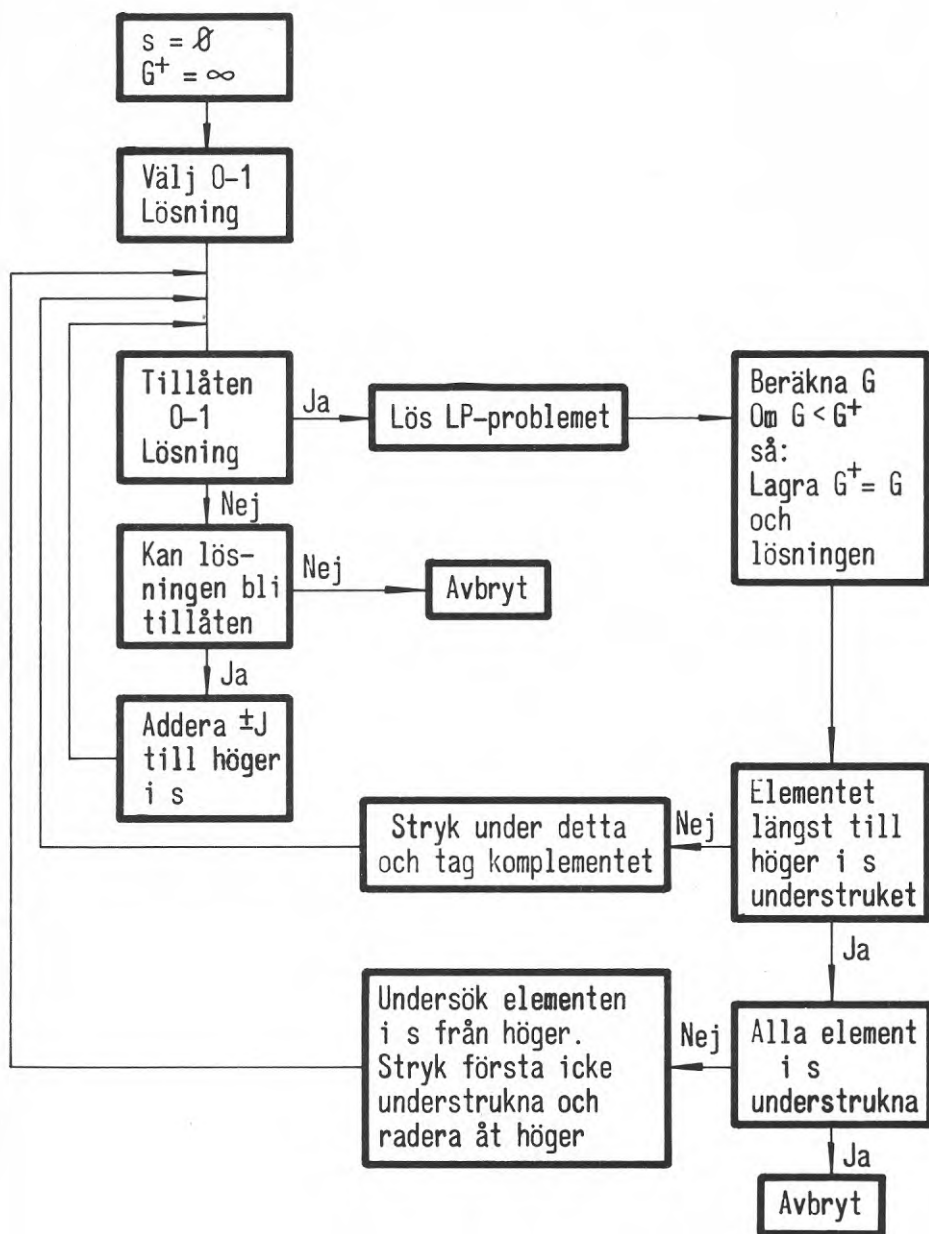


Fig. 5.1 Lösningsschema för blandad heltalsprogrammering (s är en lösning innehållande heltalsvariabler  $y_j$  där  $j$  är ordningsnumret för variabeln)



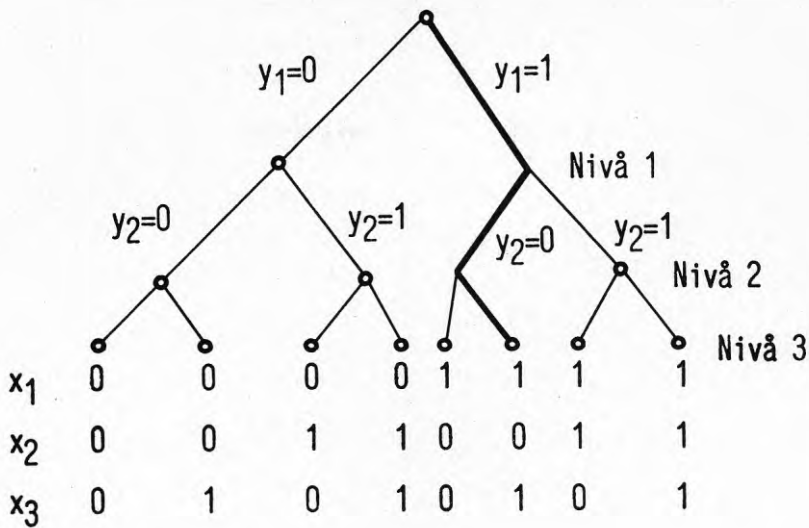


Fig. 5.2 Beslutsträd

$$\min_j (\alpha_j x_j + d_j y_j)$$

(5.3)

där

$\alpha_j$  är den kostnadskoefficient som motsvarar energisystem  $j$   
 $x$  är det effektbehov i delområdet som återstår att möta med hänsyn till de partiella tilldelningarna  
 $d_j$  är den fasta kostnaden för system  $j$   
 $y_j$  är den motsvarande beslutsvariabeln

Eftersom hänsyn måste tas till de gjorda partiella tilldelningarna bestäms koefficienten  $\alpha_j$  av om system  $j$  förekommer och på vilket sätt i dessa tilldelningar. Hänsyn måste även tas till om behovet  $x$  överstiger en eventuell kapacitetsgräns för system  $j$ . Även om den partiella tilldelningen är en tillåten lösning behöver den inte vara en optimal lösning. En analys av alternativa tilldelningar är därför nödvändig, vilket sker genom att gå tillbaka i beslutsträdet och där efter söka en ny tillåten lösning. I figur 5.2 kan det illustreras av en förflyttning från nivå 3 till nivå 2 etc, varefter en ny tillåten

lösning söks. Denna bakåtanalys sker genom uteslutning av variabler ur den partiella tilldelningen i enlighet med LIFO-kriteriet. Det betyder att den sist adderade variabeln analyseras och utesluts först, vilket i figur 5.2 är  $x_3$ . På varje nivå testas dels om en tidigare funnen lösning kan förbättras, dels om en tillåten lösning kan erhållas genom att utöka den partiella tilldelningen. Uppfylls inte dessa kriterier på en viss nivå i beslutsträdet kan ytterligare analys på nivåer med högre ordningsnummer uteslutas. Detta gör att antalet möjliga lösningar som behöver analyseras kan reduceras avsevärt.

### 5.1.2 Linjärprogrammering

Har en tillåten lösning erhållits för heltalsvariablerna reduceras optimeringsproblemet enligt ekvation (5.1) till följande Lp-problem i vektorform:

$$\text{Minimera} \quad G = c x \quad (5.4)$$

Med hänsyn till:

$$\begin{aligned} Ax &= b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Givet att en tillåten baslösning existerar som definierar en basmatris  $B$ . En partitionering av  $A$ ,  $x$  och  $c$  ger:

$$\begin{aligned} A &= [B, D] \\ x &= (x_B, x_D) \\ c &= (c_B, c_D) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Programmeringsproblemet enligt ekvation (5.4)-(5.5) kan därvid omformuleras till:

$$\text{Minimera} \quad G = c_B x_B + c_D x_D \quad (5.7)$$

Med hänsyn till:

$$\begin{aligned} Bx_B + Dx_D &= b \\ x_B &\geq 0, \quad x_D \geq 0 \end{aligned} \quad (5.8)$$

Baslösningen som svarar mot basen  $B$  är  $(x_B, 0)$  där  $x_B = B^{-1}b$ , eftersom baslösningen erhålls genom att sätta  $x_D = 0$ . Allmänt gäller att

$$x_B = B^{-1}b - B^{-1}Dx_D \quad (5.9)$$

Efter insättning i ekvation (5.7) erhålles

$$\begin{aligned} G &= c_B x_B + c_D x_D = c_B [B^{-1}b - B^{-1}Dx_D] + c_D x_D \\ &= c_B B^{-1}b + [c_D - c_B B^{-1}D]x_D \end{aligned} \quad (5.10)$$

Detta uttrycker kostnaden av lösningar till optimeringsproblemet enligt (5.5)-(5.6) uttryckt i  $x_D$ . Definiera så den relativa kostnadsvektorn  $r$ , såsom

$$r = c_D - c_B B^{-1}D \quad (5.11)$$

Detta utgör basen för en lösningsalgoritm enligt "revised simplex"-metoden. Givet inversen  $B^{-1}$  av en aktuell bas och lösningen  $x_B = y_0 = B^{-1}b$  kan ett flödesschema enligt figur 5.3 specificeras.

För att metoden skall fungera krävs en tillåten startlösning och inversen av basen, vilken i detta fall erhålls genom att introducera artificiella variabler i problemet enligt Luenberger [35].

### 5.1.3 Speciella bivillkor

Förutom de bivillkor som beskriver energisystem finns bivillkor av lösningsteknisk karaktär. De partiella tilldelningarna innebär att vissa kontinuerliga variabler inte får ingå i lösningsmängden. Det betyder att om beslutsvariabeln  $y_j$  i ekvation (5.1) har värdet noll, dvs att energisystem  $j$  ej skall byggas ut, tillåts inte motsvarande kontinuerliga variabel  $x_j$  att anta värden större än noll. Bivillkor kan formuleras.

$$\sum_{k \in K} x_k = 0 \quad (5.12)$$

Mängden  $K$  definieras av dels de variabler som utesluts av de partiella tilldelningarna, dels de kontinuerliga variabler som är uteslutna genom att motsvarande beslutsvariabel ej ingår i de partiella tilldelningarna. För att ytterligare reducera antalet helt genomräk-

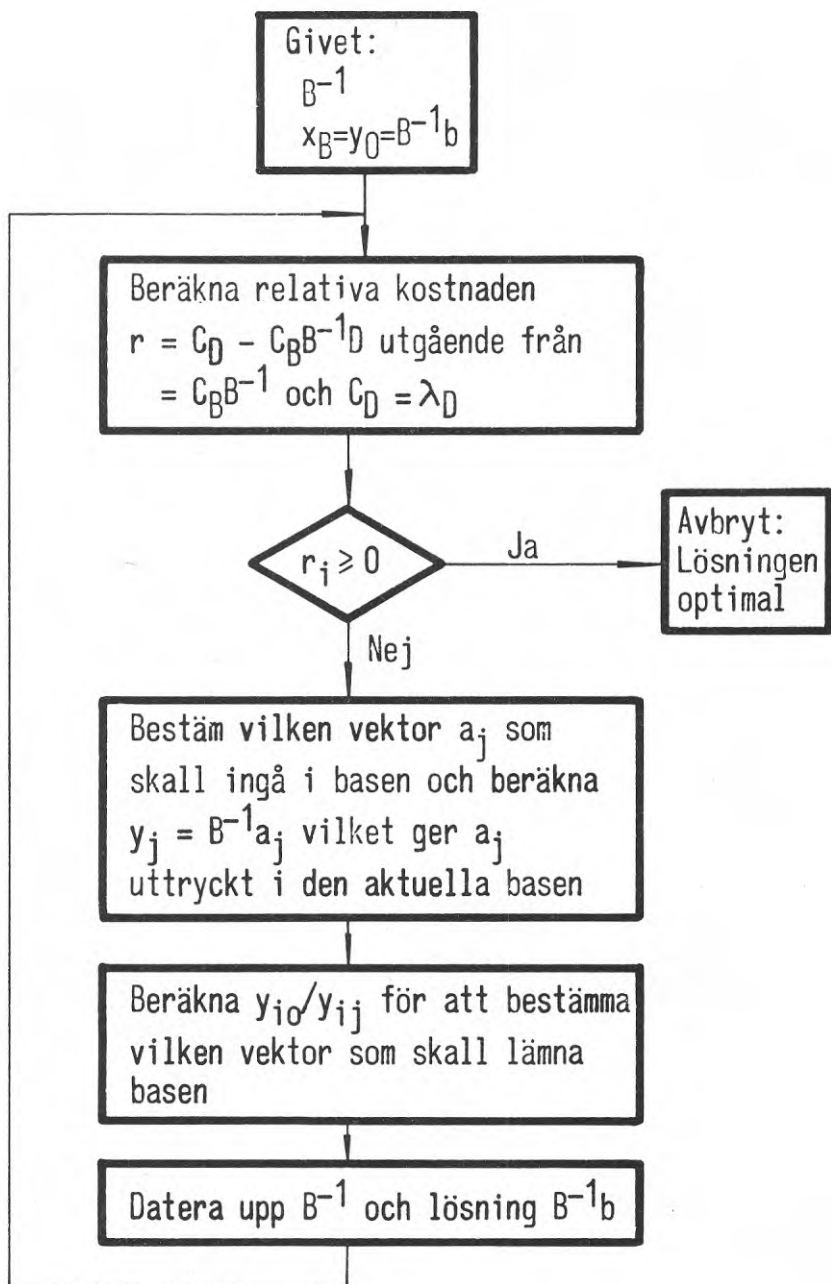


Fig. 5.3 Flödesschema över "revised simplex"-metoden enligt Luenberger [35]

nade alternativ adderas ett bivillkor som introducerar en aktuell övre gräns på objektfunktionen under lösningsprocessen. Detta sker enligt följande:

Bestäms så ett urval  $N'$  av energisystem erhålles enligt ekvation (5.1):

$$G' = A_{N'} + \sum_{n \in N'} c_n x_n \quad (5.13)$$

där  $A_{N'}$  är de fasta kostnader som beror av den aktuella partiella tilldelningen. De  $y_n$  som ej ingår i de partiella tilldelningarna ges värdet 0 och de kontinuerliga variabler som därvid ej tillåts ingå i lösningsmängden  $N'$  tilldelas värdet 0. Antag att lösningen till optimeringsproblemet (5.13) är  $G^*$ . För en ny partiell tilldelning kan ekvation (5.13) skrivas

$$G'' = A_{N''} + \sum_{n \in N''} c_n x_n \quad (5.14)$$

Det nya bivillkoret kan därvid formuleras

$$G'' = A_{N''} + \sum_{n \in N''} c_n x_n \leq G^* \quad (5.15)$$

Ekvation (5.15) är uppfylld om lösningen är bättre än den tidigare funna. Genom att modifiera ekvationen så att hänsyn tas till den aktuella partiella tilldelningen  $A_{N''}$  kan bivillkoret användas i lösningen av linjärprogrammeringsproblemet. Genom att de partiella tilldelningarna beaktas genom den övre gränsen på objektfunktionen, minskas antalet genomräknade alternativ. Bivillkoret får följande utseende:

$$\sum_{n \in N''} c_n x_n < G^* - A_{N''} \quad (5.16)$$

Genom att de variabler som är kopplade med beslutsvariabler utanför de partiella tilldelningarna tvingas att anta värdet 0 liksom de variabler som ges värde 0 via de partiella tilldelningarna kan ekvation (5.16) skrivas

$$\sum_{n \in N} c_n x_n \leq G^* - A_N \quad (5.17)$$

där

$x_n$  är effektflöde med system  $n$

$c_n$  är kostnadskoefficienten som motsvaras av effektflödet med system  $n$

$G^*$  är den hittills bästa lösningen till optimeringsproblemet

$A_N$  är den fasta kostnad som är förknippad med den aktuella lösningen

$N$  är den lösningsmängd som definierar den aktuella lösningen

## 5.2 Känslighetsanalys

Antag att lösningen till de optimeringsproblem som definieras av ekvation (5.1) och den partiella tilldelningen är optimal. Mängden av kontinuerliga variabler definierar en bas  $B$ , för vilken gäller att lösningsvektorn  $x_B$  kan skrivas

$$x_B = B^{-1}b \quad (5.18)$$

Motsvarande simplex-multiplikatorer blir, om lösningen är optimal

$$\lambda = c_B B^{-1} \quad (5.19)$$

och den optimala lösningen är enligt ekvation (5.10)

$$G = c_B B^{-1}b \quad (5.20)$$

där  $c_B$  är den del av vektorn med kostnadskoefficienter som motsvaras av variabler med värdet skilt från noll i lösningsmängden. Om basen  $B$  ej är degenererad, dvs att i basen finns vektorer vars värde i lösningsmängden är noll, kommer små ändringar i högerledet  $b$  inte att förändra den optimala lösningen. Ändras  $b$  till  $b + \Delta b$  blir därför den optimala lösningen

$$x = (x_B + \Delta x_B, 0) \quad (5.21)$$

där  $x$  är mängden av kontinuerliga variabler och  $\Delta x_B = B^{-1}\Delta b$  enligt ekvation (5.18). Den motsvarande förändringen i kostnadsfunktion blir enligt ekvation (5.10)



$$\Delta c = c_B \Delta x_B = c_B B^{-1} \Delta b = \lambda \Delta b \quad (5.22)$$

Ekvation (5.22) visar att  $\lambda$  ger känsligheten i den optimala kostnaden med hänsyn till små förändringar i högerledet  $b$ . Simplex-multiplikatorerna användes i lösningsalgoritmen till att beräkna de relativa kostnaderna. Den egenskapen kan utnyttjas för känslighetsanalys med sikte på att beräkna den relativa kostnaden för energisystemen enligt följande:

$$r_i = c_i - \lambda a_i \quad (5.23)$$

där

$r_i$  är den relativa kostnaden för system  $i$

$c_i$  är den verkliga kostnaden för system  $i$

$\lambda$  är en vektor med simplex-multiplikatorer

$a_i$  är den  $i$ :te kolumnen i bivillkorsmatrisen

Som visats i avsnitt 5.1.1 och 5.1.2 är ekvation (5.23) grunden i simplex-algoritmen och har där funktionen att om alla  $r_i$  är icke-negativa, är lösningen till optimeringsproblemet optimal. Konsekvensen är att kostnaderna för de energisystem, som ej valts i respektive delområde är för höga och måste minskas med den relativa kostnaden för att utgöra ett konkurrenskraftigt alternativ i optimeringsprocessen. Resultaten kan även tolkas så att  $\lambda a_i$  är den syntetiska kostnaden eller skuggkostnaden för system  $i$  med utgångspunkt från den optimala lösningen.

Slutligen kan värdet av osäkerhet i kostnadsparametrar  $c_n$  beräknas enligt följande, utgående från ekvation (5.1):

$$G + \Delta G = \sum_{n \in N} [c_n + \Delta c_n] \cdot x_n + d_n y_n = \underbrace{\sum_{n \in N} [c_n x_n + d_n y_n]}_{G \text{ enligt ekv (5.1)}} + \sum_{n \in N} \Delta c_n x_n \quad (5.24)$$

Antag att en lösning definierad av lösningsmängden  $N^*$  är optimal och att förändringarna i kostnadskoefficienter är små, dvs ej förändrar den optimala lösningen. Detta leder enligt ekvation (5.24) till

$$G^* + \Delta G^* = G^* + \sum_{n \in N} \Delta c_n x_n \quad (5.25)$$

dvs

$$\Delta G^* = \sum_{n \in N} \Delta c_n x_n \quad (5.26)$$

De ekvationer som redovisas ovan förutsätter att förändringarna inte ändrar den optimala lösningen, varför en viss försiktighet vid användningen är nödvändig. Dessutom bör effekterna på de partiella tilldelningarna utvärderas, vilket baseras på konsekvenserna av bivillkoret enligt ekvation (5.12).

### 5.3 Slutsatser

Den föreslagna optimeringsmodellen karakteriseras av dels relativt långa beräkningstider, dels utrymmeskrävande gles bivillkorsmatris vilket kan illustreras av figur 5.4.

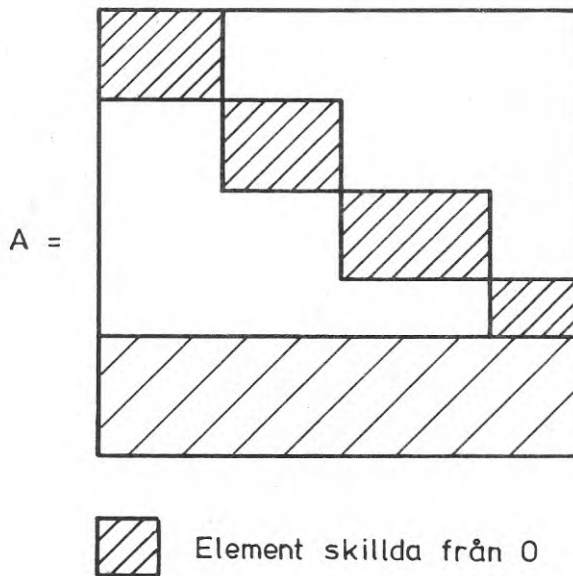


Fig. 5.4 Typiskt exempel på fyllnadsgraden hos bivillkorsmatrisen A

En viktig aspekt vid genereringen av bivillkorsmatrisen är därför en minimering av utrymme. Acceleration av lösningsalgoritmen genom uteslutande av potentiella lösningar, som är sämre än den hittills funna och minimering av antalet beslutsvariabler är av avgörande betydelse. En introduktion av lösningsalgoritmer som möjliggör sk gles matrismetodik kan vara nödvändig, när problemställningen expanderas. Gles matrismetodik gör att endast element skilda från 0 lagras, vilket reducerar nödvändigt lagringsutrymme. Dessutom minskar antalet operationer, eftersom endast beräkningarna med element skilda från 0 genomföres. Andra operationer är implicita och resulterar endast i element med värdet noll. På detta sätt nedbringas också antalet operationer och därmed beräkningstiderna. En utvärdering och analys av de erfarenheter som vunnits vid utförandet och förverkligandet av tidigare gjord energisystemplanering kan här ge värdefulla bidrag. Bättre startlösningar och beslutskriterier i lösningsproceduren kan resultera i minskade beräkningstider.

## 6 TESTFALL

Ett led i modellutvecklingen är tillämpningen på olika testfall. Detta syftar till att dels demonstrera modellens användbarhet, dels jämföra med och anpassa till planering utförd med konventionella metoder. Målet är dessutom att analysera känsligheten med avseende på osäkerhet i indata och förutsättningar. De testfall som valts är Huddinge och Botkyrka kommun, vilket motiveras av att värmeplaner är upprättade för kommunerna [28] och [41]. Kommunerna har fjärrvärmesystem, vilka är sammankopplade och har gemensam produktion.

### 6.1 Allmänna förutsättningar

Kommunerna har indelats i ett flertal delområden. För att få jämförbara resultat har samma indelning och prognosperspektiv, dvs 1985, använts som i värmeplanerna.

Med utgångspunkt från den gjorda områdesindelningen har det befintliga och det tillkommande bostadsbeståndet inventerats (se bilaga 2 och 3). Sammanställningen har kompletterats med uppskattningar av industri och övriga bebyggelse. Uppgifter om dessa kategorier har ej angivits explicit i värmeplanerna, varför dessa har uppskattats från prognoserna för respektive delområde. En prognos för bostadsbeståndet har gjorts, varefter skillnaden mellan de i värmeplanen angivna värdena och de prognoserade har hänförs till de resterande kategorierna. Beroende på inventeringen har skillnaden hänförs till industri eller övrig bebyggelse. Genom att använda förbrukningssiffrorna för respektive kategori kan kvadratmetertalet uppskattas. Någon bedömning av hur stor del som är tillkommande bebyggelse har inte gjorts vid användningen av prognosmodellen. Flertalet industriområden har lyfts utanför områdesindelningen i värmeplanen och behandlats separat. Vid testkörningar av optimeringsmodellen har därför motsvarande särbehandling gjorts.

#### 6.1.1 Energi- och effektprognos

Underlaget för effekt- och energiprognosen i värmeplanerna utgörs av specifika behov. En sammanställning [28],[41] av dessa ges i tabell 6.1.

Bebyggelsetyp	Effektbehov (ej sammanl.)	Energibehov netto per "normalår"	
	kW	Fjärrvärme kWh	Elvärme kWh
Småhus			
Radhus/kedjehus (direktverkande elvärme)	12	26.400	25.000
Fristående (vattenburet system)	14	30.800	30.800
Fristående (direktverkande elvärme)		-	27.500
Lgh i flerfamiljshus	7,5	16.500	14.500
Skolor, kontor, allm. byggnader m m i genomsnitt (per m <sup>2</sup> vy)	0,12 å 0,14	280	230
Byggnader för industri- ändamål i genomsnitt (per m <sup>2</sup> vy)	0,05 å 0,15	220	200

Tabell 6.1 Specifika förbrukningstal för olika belastningskategorier. Dessa inkluderar ej elenergi för hushållsförbrukning eller cirkulationspumpar.

Vid beräkningen på områdesnivå har belastningarna satts till 10 kW för småhus och 5,4 kW för lägenheter. Sammanlagringsfaktorn för värmebelastningen har varit 70 %.

Det underlag som använts i prognosmodellen är energibehov, utvecklingsfunktioner, dygnsvariationskurvor och varaktighetskurvor. De energibehov som använts redovisas i tabell 6.2 och avser 1970 års belastningsnivå som basår för prognosen. Förbrukningssiffrorna är hämtade dels ur värmeplanerna [28] och [41], dels ur Dimensionering av el-distributionssystem i tätorter [30].

Bebyggelsestyp	energibehov för normalår (kWh)	
	värme	övrigt
Småhus	25.000	6.000
Lgh i flerfamiljshus	15.000	3.700
Skolor, kontor, allm. byggnader m m i genomsnitt (per m <sup>2</sup> vy)	250	210
Byggnader för industri- ändamål i genomsnitt (per m <sup>2</sup> vy)	180	190

Tabell 6.2 Specifika förbrukningstal använda i testfallen

De utvecklingsfunktioner som kan användas finns redovisade i bilaga 1. Valet av funktioner har varit något olika i de respektive testkörningarna. I basprognosen har energiförbrukningen per abonnent för genomsnittsabonnenten antagits vara oförändrad under prognosperioden. I minimiprognosen användes följande utvecklingsfunktioner för att beskriva genomsnittsabonnentens energiförbrukning:

#### Småhus och lägenheter

- . Värmeförbrukningen antas sjunka linjärt med 0,5% per år på grund av sparåtgärder, nya byggnormer etc.
- . El exklusive värme antas vara oförändrad under prognosperioden

#### Industri och övrigt

- . Värmeförbrukningen antas sjunka linjärt med 0,4% per år
- . El exklusive värme antas vara oförändrad under prognosperioden

Dygnsvariationsskurvor, se bilaga 4, och varaktighetskurvor har erhållits ur CDL/VVF-studien [32] och Elverksföreningens publikation "Belastning av kablar" [14]. Relationen mellan genomsnittlig dygnsförbrukning och toppdygnsförbrukning har approximerats till utnyttjningsfaktorn, vilken erhöles ur varaktighetskurvan.



### 6.1.2 *Kostnadsfunktioner, allmänt*

Den parameterbestämning som ges i den följande framställningen är ett exempel avsett att illustrera principerna. Materialet har använts för att demonstrera och testa modellens användning liksom de ingående parametrarna. Underlaget baseras på 1974 års prisnivå och omfattar tre energislag, nämligen el, fjärrvärme och individuell oljeeldning. I värmeplanerna beaktas el och fjärrvärme. Kostnadsgränsen för anläggningarna är:

- . För el beräknas kostnaderna fram till och med servicen
- . För fjärrvärme beräknas kostnaderna fram till och med undercentral eller motsvarande beroende på anslutningssätt
- . För individuell oljeeldning beräknas kostnaderna fram till och med värmepannan

De ekonomiska förutsättningar som används är baserade på de respektive värmeplanerna. Således beräknas årskostnaderna utgående från 10% kalkylränta och fast penningvärde. Inflationseffekterna har analyserats i värmeplanerna genom känslighetsanalys.

### 6.1.3 *Individuell oljeeldning*

Den individuella oljeeldningen saknar representation på överordnad kommunal nivå i modellen. De parametrar som finns i ekvation (4.11) behöver därför ej bestämmas. Beträffande ekvation (4.12) beskriver den kostnaderna på delområdesnivå. Eventuella investeringar i småhus sker genom addition av enstaka enheter med små och relativt lika stora effekttillskott, vilket illustreras i figur 6.1.

En approximation som försummar den fasta kostnaden  $a_{ij}$  förefaller väl motiverad. Parametern  $b_{ij}$  bestäms av oljepannans och tillhörande utrustnings storlek, kostnad och livslängd. För enkelhetens skull har följande antagande gjorts, nämligen att storleken är 10 kW och kostnaden 10 kkr med en brukbarhetstid på 15 år. Vid en kalkylränta på 10% erhålles en årlig annuitet på 13,2%. Dessutom uppskattas den årliga underhållskostnaden till 1%. Detta ger 14,2% årlig kostnad på en investering som kostar 1 kkr/kW, dvs



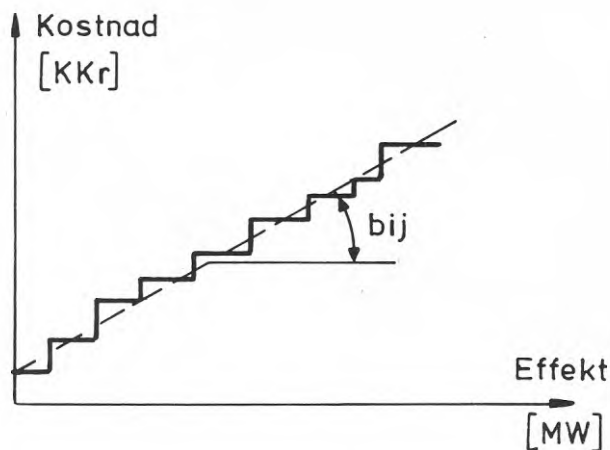


Fig. 6.1 Investeringskostnaden för individuell oljvärme med en parameterapproximation redovisad

$$\alpha_{ij} = 14,2\% \quad (6.1)$$

och

$$b_{ij} = 142 \text{ kkr/MW och år} \quad (6.2)$$

Detta gäller i första hand småhusinstallationer. Beträffande oljeinstallationer hos andra abonnenter har samma approximation gjorts, dvs 1 kkr/MW och fasta kostnaden försummad. Effektmässigt är dessa installationer små jämfört med delområdets totala effekt, varför en motsvarande kurva som den i figur 6.1 kan uppritas. Slutligen har  $d_{ij}$  approximerats till att enbart bero av bränslekostnaden och  $c_{ij}$  försummad. Det senare motiveras av att den fasta kostnaden inte påverkar optimeringsprocessen och därmed inte valet av energislag. Parametern  $d_{ij}$  blir således beroende av oljepris, utnyttjningstid och verkningsgrad. Antas oljepriset till 40 kr/Gcal för eldningsolja 1, utnyttjningstiden till 2200 h och verkningsgraden till 65% erhålles:

$$40 \text{ kr/Gcal motsvarar } 360 \text{ kr/m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ olja innehåller ca } 10 \text{ MWh}$$

vilket ger

$$\begin{aligned}
 36 \text{ kr/MWh} &= [\text{utnyttjningstiden} = 2200 \text{ h}] = 36 \cdot 2,2 = \\
 &= 79,2 \text{ kkr/MW} = [\text{verkningsgraden} = 0,65] = \\
 &= 122 \text{ kkr/MW}
 \end{aligned}$$

dvs

$$d_{ij} = 122 \text{ kkr/MW} \quad (6.3)$$

#### 6.1.4 Elsystemet

Elsystemet har representation både lokalt och kommunalt, vilket gör att även parametrarna i ekvation (4.11) måste bestämmas. I detta fall har anläggningskostnaden bestämts enligt Elverksföreningens kostnads-katalog [30] exempel 5:12. Spänningsnivån antas vara 130/10 kV,

$$(I_k)_{130 \text{ kV}} = 40 \text{ kA} \text{ och } (I_k)_{10 \text{ kV}} = 16 \text{ kA, vilket ger:}$$

Grundvärde	1 155 kkr
4 Ledningsfack 130 kV	1 224 kkr
2 Transformator tillbehör	226 kkr
	2 605 kkr

Antalet kabelfack för 10 kV, transformatorfack- och transformator-kostnaden antas effektberoende

$$30 \text{ kabelfack } 10 \text{ kV} \quad 24 \text{ kkr/fack} \quad \text{linjärisera} \quad \frac{24 \cdot 30}{2 \cdot 40} = 9 \text{ kkr/MW}$$

$$\begin{aligned}
 2 \text{ transformatorer (40 MVA)} & \quad 2 \cdot 180 \text{ kkr} + 6,5 \text{ kkr/MW (MVA)} \\
 \text{dvs} & \quad 360 \text{ kkr} + 6,5 \text{ kkr/MW (MVA)}
 \end{aligned}$$

2 transformatorfack  
linjärisera mellan 40 MVA och 25 MVA.

$$2 \cdot 195 \text{ kkr} + \frac{395 - 320}{40 - 15} \text{ kkr/MW} = 390 + 3 \text{ kkr/MW}$$

$$\begin{aligned}
 & 750 \text{ kkr} + 18,5 \text{ kkr/MW} \\
 \sum & 3350 \text{ kkr} + 18,5 \text{ kkr/MW}
 \end{aligned}$$

dvs

$$a_j = 3 \text{ 355 kkr} \quad (6.4)$$

och

$$b_j = 18,5 \text{ kkr/MW} \quad (6.5)$$

Investeringskostnaden omräknas till årskostnad med hjälp av en annuitet. Denna beror av den använda kalkylräntan och brukbarhetstiden, vilka antas vara 10% respektive 35 år. Annuiteten blir därvid 10,4%. Underhållskostnaden approximeras till 1% av investeringskostnaden. Annuiteten, som inkluderar personalkostnaden, blir

$$\alpha_j = 10.4 + 1.0 = 11.4\% \quad (6.6)$$

Parametrarna  $a_{jb}$  och  $b_{jb}$  bestäms av vilken kommun som analyseras.

Beträffande parametrarna i ekvation (4.12) gäller att  $\alpha_{ij}$  bestäms av kalkylräntan och brukbarhetstiden. Dessa antas till 10% och 35 år, vilket ger 10,4%. Dessutom tillkommer underhållskostnader på 1% av investeringskostnaden. Annuiteten inklusive personalkostnaden blir

$$\alpha_{ij} = 11.4\% \quad (6.7)$$

Investeringsgarnas storlek baseras på att dels knyta en fast kostnad kopplad till nya abonnenter, dels en linjäriserad kostnad som korresponderar mot övriga investeringskostnader. Den senare är applicerbar även i områden med investeringar beroende enbart av konsumtions-tillväxt härstammande från befintliga abonnenter. De antaganden som gjorts baseras på Elverksföreningens rapport: Dimensionering av el-distributionssystem i tätorter [30], och nya abonnenter antas behöva:

#### Enfamiljshus

3 m HSP-kabel/abonnent ( $150 \text{ mm}^2$ ) à 91,2 kr/m  
 15 m Matarkabel/abonnent ( $95 \text{ mm}^2$ ) à 29,5 kr/m  
 23 m Servicekabel/abonnent ( $10 \text{ mm}^2$ ) à 17,8 kr/m

#### Lägenheter

För lägenheter antas ingen servicekabel ingå.

3 m HSP-kabel/abonnent ( $150 \text{ mm}^2$ ) à 91,2 kr/m  
 15 m Matarkabel/abonnent ( $95 \text{ mm}^2$ ) à 29,5 kr/m

#### Industri och övrig belastning

Servicekablar antas ej behövas.

6 m HSP-kabel/ $1000 \text{ m}^2$  bebyggelse ( $150 \text{ mm}^2$ ) à 91,2 kr/m  
 30 m Matarkabel/ $1000 \text{ m}^2$  bebyggelse ( $95 \text{ mm}^2$ ) à 29,5 kr/m

För att uppskatta de övriga kostnader som är förenade med expansion har material från avsnitt 9 i referens [30] använts. Detta ger totalkostnaden, varför kabelkostnaderna subtraherats och figur 6.2 skisserats. Siffermaterialet är begränsat och utgör en första approximation.

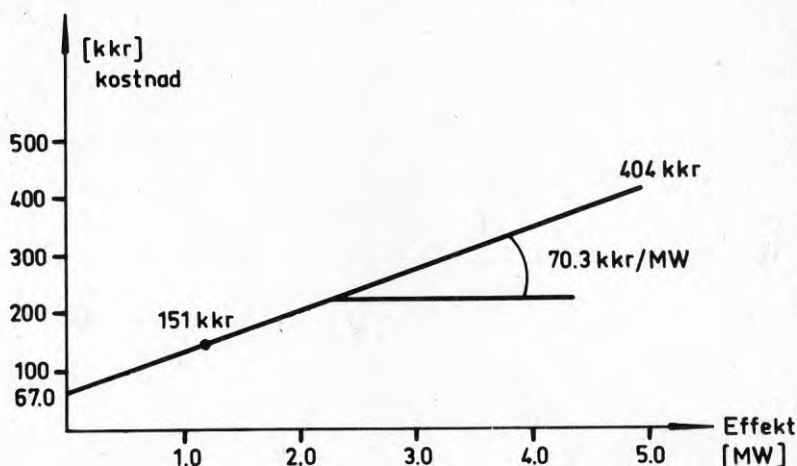


Fig. 6.2 Linjärisering av kostnaderna för områdesinvesteringar. Kabelkostnaderna är exkluderade

En linjärisering mellan punkterna ger funktionen:

$$67 \text{ kkr} + 70.3 \text{ kkr/MW}$$

Parametrarna blir därvid

$$a_{ij} = 67 \text{ kkr} + \text{kabelkostnader} \quad (6.8)$$

$$b_{ij} = 70.3 \text{ kkr/MW} \quad (6.9)$$

Parametrarna  $c_{ij}$  påverkar ej den optimala lösningen och försummas därför vid valet av energisystem. Beträffande  $d_{ij}$  baseras de dels på 1973 års räkrafttaxa från Vattenfall plus 15%, dels på kostnader karakteristiska för det specifika fallet. Den förstnämnda kostnaden blir tillsammans med den antagna verkningsgraden 95% och utnyttjningstiden 4000 h. (Energiskatten är inkluderad i dessa siffror):

Vattenfallstaxan blir 5.48 öre/kWh

(omräknat till enbart energikostnad, taget från Värmeplan för Huddinge [28].)

$$d_{ij} = 4000h \cdot 0.0548 \text{ kr/kWh} = 219.2 \text{ kkr/MW}$$

Parametern blir därvid

$$d_{ij} = 219.2 \text{ kkr/MW} + \text{kostnader specifika för studieobjekten} \quad (6.10)$$

#### 6.1.5 Fjärrvärmesystemet

Årskostnaden för investeringar i fjärrvärmesystemet utgår från 10% kalkylränta. På kommunal nivå approximeras investeringarna i produktionsenheter till 115 kkr/MW och den fasta kostnaden kan försummas enligt [28] och [41], vilket leder till:

$$b_j = 115 \text{ kkr/MW} \quad (6.11)$$

Med en kalkylränta på 10% och en antagen brukbarhetstid på 20 år erhålles en annuitetsfaktor på 11.7%. Dessutom tillkommer underhållskostnader, vilka approximeras till 1% av investeringskostnaden, ej inkluderande personalkostnader. Annuiteten blir därvid

$$\alpha_j = 11.7 + 1.0 = 12.7\% \quad (6.12)$$

Parametrarna  $a_{jb}$  och  $b_{jb}$  beror av vilket fall som studeras. Investeringarna på områdesnivå omräknas till årskostnad baserat på 10% kalkylränta och 33 års brukbarhetstid, vilket ger 10.5% annuitet. 1% underhållskostnad exklusive personalkostnader tillkommer, vilket beräknas på investeringsvolymen. Annuiteten blir därför

$$\alpha_{ij} = 1.0 + 10.5 = 11.5\% \quad (6.13)$$

Investeringarna i delområdena bestäms av de schablonregler som Värmeverksföreningen anger [31] och [32]. Belastningstätheten och områdeskaraktären bestämmer de variabla kostnaderna. Innehåller området en övervägande del flerfamiljshus eller motsvarande belastningar inkluderas även undercentralkostnader. Den fasta kostnaden bestäms av på karta uppmätt antal meter huvudkulvert från det befintliga systemet till delområdets mitt. Funktionen som bestämmer parametern  $a_{ij}$  är enligt [32]:

$$a_{ij} = [200 + 3 \times \text{diameter}]$$

Vid 300 mm kulvert erhålles

$$a_{ij} = 1100 \text{ kr/m} \quad (6.14)$$

I övrigt har antagits att:

- . I ett tätexploaterat område är anslutningsvärdet per abonnentgrupp 1.5 MW
- . Annars antas anslutningsvärdet vara 0.5 MW per abonnentgrupp

Parametern  $c_{ij}$  påverkar ej optimeringsprocessen och försummas därför vid valet av energislag. Beträffande  $d_{ij}$  gäller att parametrarna sammansätts av bränsleförluster och andra kostnader specifika för varje studerat fall. Verkningsgraden antas vara 85% och utnyttjningstiden 2200h.

$$d_{ij} = \frac{1}{0.85} \cdot 2200 \cdot [\text{kommunspezifika parametrar}]$$

innefattar bränsletillägg och  
skatter

## 6.2 Huddinge kommun

I värmeplanen har kommunen indelats i 66 delområden. Dessutom finns vissa områden av främst industrikaraktär. En aggregering till 14 delområden har gjorts inför testkörningarna. Med utgångspunkt från indelningen har områdena inventerats, se bilaga 2, i syfte att prognosera belastningar och bestämma kapacitetsgränser. I och med att underlaget varit begränsat har kapacitetsgränserna uppskattats baserat på prognosresultaten för startåret. El och fjärrvärmebelastningen kan direkt utläsas ur resultaten. Den övriga delen av den totala belastningen hänförs till individuell oljeeldning. Kapacitetsgränsen har därefter approximerats till prognosresultatet, som ökats med 20% för att beakta reservaspekten. Kapacitetsgränserna, uttryckta i MW, redovisas i tabell 6.3. Kapacitetsgränsen i den mellan Huddinge och Botkyrka kommun gemensamma produktionsenheten blir på detta sätt uppdelad mellan kommunerna.

De kommunspezifika kostnadsfunktionerna liksom de allmänna bestäms i enlighet med avsnitt 6.1. Resultterande kostnadsfunktioner ges i tabell 6.4. Således har områdenas aktuella försörjning, struktur, exploateringsgrad etc använts liksom avstånd till huvudkulvert. En linjärisering av kostnaderna för verksamhetsutvecklingen har använts som approximation till de fasta och rörliga kostnaderna för det befintliga systemet.

Område	El	fjärrvärme	olja
1	5.8	12.2	0.3
2	2.0	3.0	0.3
3	7.2	0.0	5.2
4	0.4	0.0	1.2
5	5.0	0.0	4.5
6	4.6	0.0	5.1
7	8.0	10.0	0.0
8	8.0	8.0	5.0
9	10.0	10.0	6.0
10	4.0	7.0	0.0
11	0.2	0.0	0.6
12	7.0	6.0	5.0
13	7.0	11.0	0.3
14	0.2	0.0	0.6
Totalt	69.4	67.2	-

Tabell 6.3 Kapacitetsgränser för de olika delområdena och kommunen som helhet uttryckt i MW

Alla direkt oljeberoende kostnader har om möjligt förts upp till överordnad kommunal nivå för att underlätta analys av oljeprisberoendet.

#### 6.2.1 Resultat

De resultat som erhålles från modellen är den energiförsörjning som under de givna förutsättningarna ger lägsta årskostnad. Den belastning som ett visst energisystem tillgodoser och motsvarande kostnad presenteras dels områdesvis, dels på överordnad kommunal nivå. Kostnaderna kan därvid delas upp på olika intressenter och typ (drift, investering etc). Av största intresse är en jämförande analys, känslighetsanalys av flera körningar med olika förutsättningar. Detta belyses i ett senare avsnitt. De resultat som erhålls med de ovan givna förutsättningarna kan sammanfattas enligt följande:

- El användes till andra ändamål än uppvärmning
- Individuell oljevärme i lågexploaterade områden eller områden med stort avstånd till huvudkulvert
- Fjärrvärme användes i resterande områden



Område	E1		Fjärrvärme				Olja	
	Bef.delar kk/MW	Nya delar kk	Nya delar kk/MW	Bef.delar kk/MW	Nya delar kk	Nya delar kk/MW	Bef.delar kk/MW	Nya delar kk/MW
1	78.0	22.0	86.0	32.0	0.0	54.2	122.0	264.0
2	78.0	246.0	86.0	32.0	0.0	55.9	122.0	264.0
3	78.0	65.0	86.0	32.0	569.0	70.2	122.0	264.0
4	78.0	41.0	86.0	32.0	443.0	203.0	122.0	264.0
5	78.0	127.0	86.0	32.0	253.0	73.6	122.0	264.0
6	78.0	55.0	86.0	32.0	127.0	180.2	122.0	264.0
7	78.0	96.0	86.0	32.0	127.0	54.2	122.0	264.0
8	78.0	73.0	86.0	32.0	127.0	75.9	122.0	264.0
9	78.0	137.0	86.0	32.0	0.0	59.9	122.0	264.0
10	78.0	32.0	86.0	32.0	0.0	62.8	122.0	264.0
11	78.0	16.0	86.0	32.0	506.0	203.0	122.0	264.0
12	78.0	21.0	86.0	32.0	190.0	73.6	122.0	264.0
13	78.0	303.0	86.0	32.0	150.0	56.6	122.0	264.0
14	78.0	15.0	86.0	32.0	316.0	203.0	122.0	264.0
Totalt	219.0	382.5	227.0	83.0	0.0	100.0	-	-

Tabell 6.4 Kostnadsfunktioner för basfallet i Huddinge kommun

Resultaten kan även ges en grafisk tolkning, vilken redovisas i figur 6.3. Som en jämförelse har resultaten från Värmeplanen [28] också redovisats.

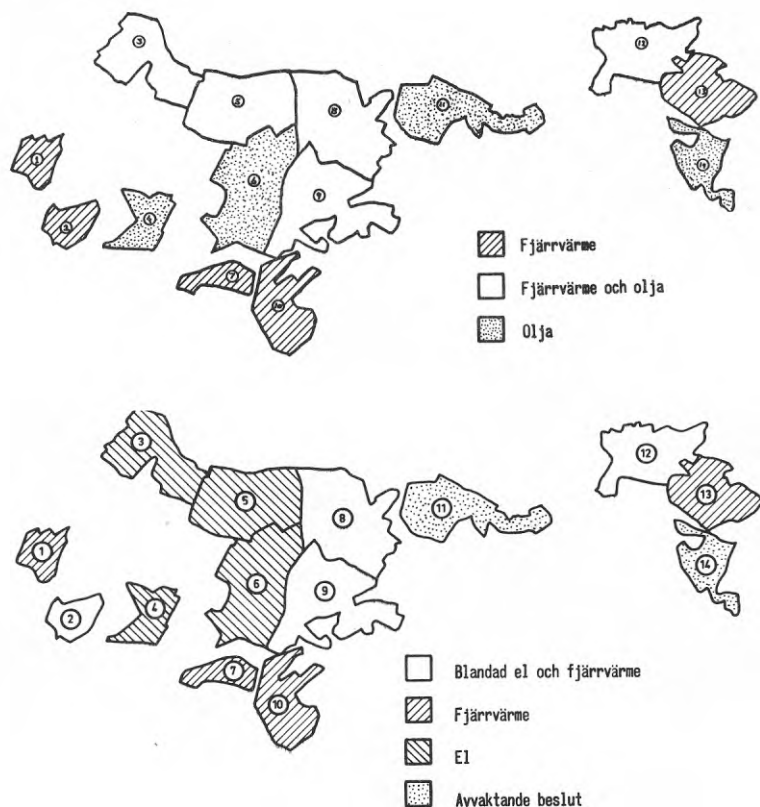


Fig. 6.3 Grafisk tolkning av värmeförsörjningen enligt optimeringsmodellen (överst) och Värmeplanen. Elvärme i befintlig bebyggelse redovisas ej.

En jämförelse visar på betydande skillnader. Dessa beror sannolikt på följande:

- . Individuell oljeeldning beaktas inte i värmeplanen
- . Kapacitetsgränserna är underskattade för el och fjärrvärme
- . Kostnaderna för el på kommunnivå överskattade
- . Områdesindelningen för grov

### 6.2.2 Känslighetsanalys

Variation av givna förutsättningar är ett väsentligt moment vid planeringen av den framtida energiförsörjningen.

Signifikanta parametrar kan därvid fastställas liksom konsekvenserna av variationer i dem. De parametrar som varierats i den fortsatta framställningen är:

- . Oljepris
- . Ekonomiska förutsättningar
- . Energi- och effektprognos
- . Ingående energislag

Av största intresse vid parametervariationen är valet av energiförsörjning i de olika delområdena. Konsekvensen är att tyngdpunkten i resultatpresentationen lagts vid den grafiska tolkningen.

#### Oljepris

Oljepriset antas bli fördubblat, vilket resulterar i:

- . Råkraftkostnaden ökar enligt oljeprisklausul (kortsiktig höjning) med 86.4 kkr/MW
- . Fjärrvärmens rörliga kostnad ökar med 104.0 kkr/MW
- . Rörliga kostnaden för individuell oljeeldning ökar med 100%

Årskostnaden ökar därvid för energiförsörjningen med ca 48%. I figur 6.4 redovisas grafiskt valet av energislag.

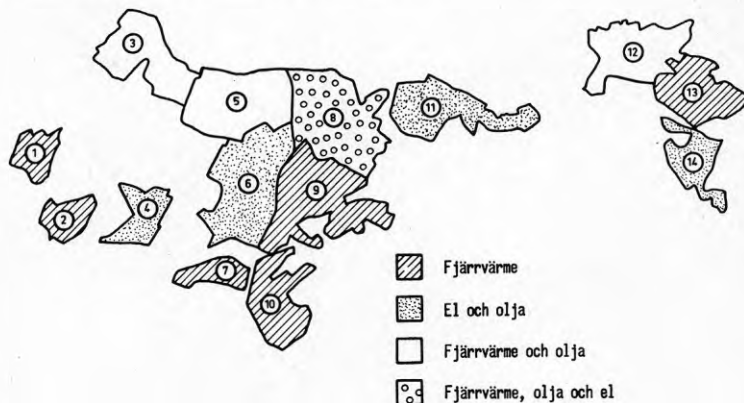


Fig. 6.4 Oljepriset höjt 100% jämfört med basfallet. Elvärme i befintlig bebyggelse och el för annat än uppvärmning redovisas ej.

En jämförelse med basfallet visar att oljevärmda områden med dessa förutsättningar i stället skall elvärmas.

#### Energi- och effektprognos

En årlig reduktion av värmebelastningen dels med 0.5% i lägenheter och småhus, dels med 0.4% i industri och övrig belastning antas. Resultatet blir att värmebelastningen totalt reduceras med 7.5%. Ekonomiskt innebär detta att årskostnaden minskar med 5%. Valet mellan energislag blir dock detsamma.

#### Ekonomiska förutsättningar

Kalkylmetoden har baserats på realränta och de förutsättningar som rekommenderas av Energikommissionen [24] och [29], nämligen:

- . 4% realränta
- . 1% årlig kostnadsstegring för produktionsanläggningar
- . 3% årlig reallöneökning
- . Inga övriga realkostnadsändringar

Resultatet blir att årskostnaden minskar med ca 5%. Valet mellan energislag blir detsamma som i basfallet.

#### Ingående energislag

Slutligen har energiförsörjning med el och fjärrvärme som alternativ studerats. Detta ger möjlighet till direkt jämförelse med värmeplanen. Resultatet blir att den totala årskostnaden ökar med ca 5% jämfört med basfallet. I figur 6.5 redovisas en grafisk tolkning av resultaten.

Fortfarande avviker resultaten i område 3, 5 och 6 betydande. Sannolikt har kostnaderna för huvudkulvert och lokala hetvattencentraler underskattats samt en för grov områdesindelning använts.

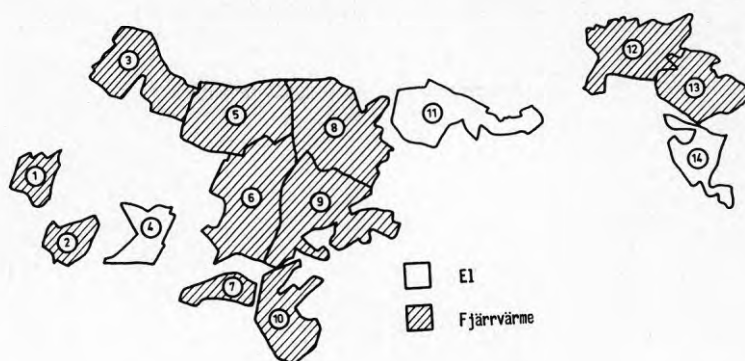


Fig. 6.5 Värmeförsörjning med el och fjärrvärme.  
Elvärme i befintlig bebyggelse redovisas ej.

### 6.3 Botkyrka kommun

I värmeplanen har kommunen delats in i 113 delområden. Dessa har aggregerats samman till 14 områden och inventerats, se bilaga 3. Kapacitetsgränserna, vilka redovisas i tabell 6.5, har bestämts enligt samma metod som i avsnitt 6.2.

Område	El	fjärrvärme	olja
1	25.0	72.0	0.0
2	0.2	0.0	0.8
3	0.4	0.0	1.3
4	1.6	0.0	4.4
5	5.0	2.7	6.2
6	1.1	0.0	2.3
7	3.6	0.9	3.0
8	2.9	0.0	5.6
9	1.0	0.0	2.4
10	5.0	9.7	0.8
11	6.6	5.1	1.9
12	7.9	2.6	13.0
13	10.1	21.9	1.7
14	3.2	0.0	5.3
Totalt	72.8	124.4	-

Tabell 6.5 Kapacitetsgränser för de olika delområdena och kommunen som helhet uttryckt i MW

De kommunspecifika kostnadsfunktionerna bestäms enligt avsnitt 6.1 och 6.2. En sammanställning ges i tabell 6.6.

Område	E1		Fjärrvärme				Olja	
	Bef.delar kkr/MW	Nya delar kkr	Nya delar kkr/MW	Bef.delar kkr/MW	Nya delar kkr	Nya delar kkr/MW	Bef.delar kkr/MW	Nya delar kkr/MW
1	78.0	115.0	86.0	32.0	0.0	63.0	122.0	264.0
2	78.0	2.0	86.0	32.0	95.0	97.8	122.0	264.0
3	78.0	24.0	86.0	32.0	127.0	166.9	122.0	264.0
4	78.0	12.0	86.0	32.0	190.0	130.4	122.0	264.0
5	78.0	204.0	86.0	32.0	127.0	67.4	122.0	264.0
6	78.0	18.0	86.0	32.0	0.0	126.2	122.0	264.0
7	78.0	5.0	86.0	32.0	190.0	114.2	122.0	264.0
8	78.0	27.0	86.0	32.0	221.0	134.0	122.0	264.0
9	78.0	31.0	86.0	32.0	158.0	104.9	122.0	264.0
10	78.0	52.0	86.0	32.0	108.0	77.8	122.0	264.0
11	78.0	1.0	86.0	32.0	0.0	106.3	122.0	264.0
12	78.0	30.0	86.0	32.0	0.0	81.9	122.0	264.0
13	78.0	0.0	86.0	32.0	443.0	60.8	122.0	264.0
14	78.0	116.0	86.0	32.0	316.0	64.9	122.0	264.0
Totalt	219.0	382.5	227.0	83.0	0.0	100.0	-	-

Tabell 6.6 Kostnadsfunktioner för basfallet i Botkyrka kommun

De resultat som erhålles ges i figur 6.6. Som en jämförelse har värmeplanens rekommendationer redovisats.

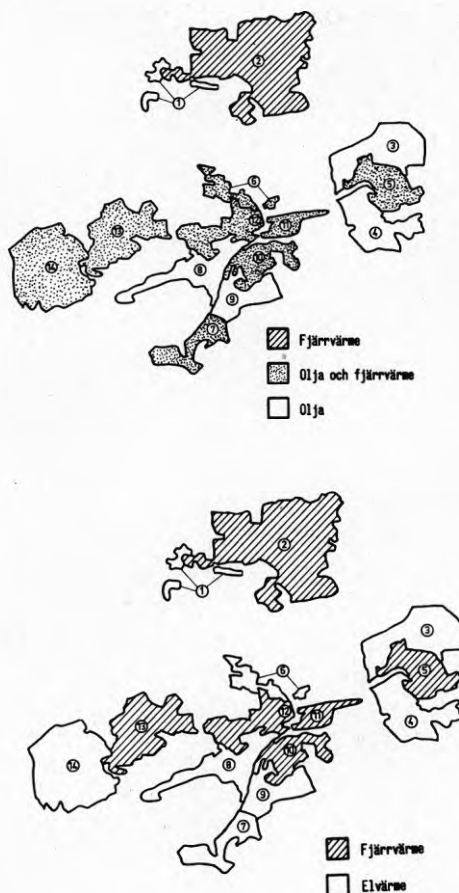


Fig. 6.6 Grafisk tolkning av värmeförsörjningen enligt dels optimeringsmodellen (överst), dels värmeplanen. Elvärme i befintlig bebyggelse redovisas ej.

Liksom i tidigare redovisade testfall gäller att resultaten från optimeringsmodellen kan sammanfattas:

- . El användes till andra ändamål än uppvärmning
- . Individuell oljeeldning i lågexploaterade områden eller i



- områden med stort avstånd till huvudkulvert
- . Fjärrvärme användes i resterande områden

Beträffande skillnaderna mellan resultaten från optimeringsmodellen och värmeplanen är orsakerna desamma som ovan, se avsnitt 6.2.1. Dessutom har sannolikt kulvertavstånden underskattats i och till de områden som inte haft fjärrvärmeförsörjning.

#### 6.4 Slutsatser

De testkörningar som redovisas ovan ger en beskrivning och demonstration av modellens användbarhet i försörjningsplaneringen på kommunal översiktlig nivå. Resultaten från jämförelser mellan värmeplaner och modell visar att fortsatt utvecklingsarbete är nödvändigt. Detta bör i första hand inriktas på att analysera de sannolika orsakerna till resultatskillnaden nämligen:

- . Olika områdesindelning
- . Relativa kostnaderna mellan energislag
- . Möjligheterna att fastställa kapacitetsgränser

Det som därvid bör göras är att pröva modellen på ytterligare testfall. Detta ger dessutom ökade erfarenheter beträffande anpassningen till den kommunala energiplaneringen, vilket är ett viktigt moment i den fortsatta utvecklingen.

## 7 UTVECKLINGSLINJER

Kommunernas energiförsörjning är för närvarande baserad på elektrisk energi och petroleumprodukter. Således planeras och byggs med nuvarande teknologi kapitalkrävande oljeberoende energisystem med lång livslängd. I ett längre perspektiv får energiförsörjningen en allt större vikt i kommunens energiplanering, speciellt mot bakgrund av

- . Begränsningar i primärenergitillförsel, främst petroleumprodukter
- . Utnyttjande av ny teknik och teknologi
- . Konsekvenserna av en främjad energihushållning såsom energisparplanen [2]

I en planering enligt intentionerna i "Lag om kommunal energiplanering" [1] är det angeläget att dessa aspekter noggrant analyseras och beaktas för att främja en säker och tillräcklig energitillförsel samt undvika onödiga låsningar, vilka på lång sikt försvårar eller omöjliggör en övergång till framtida energisystem och andra energibärare.

### 7.1 Områden för metod- och modellutveckling

Energiförsörjningssystemets utformning är beroende av tillgång av primärenergi, energianvändningens storlek och karaktär, bebyggelsens struktur samt vissa samhällsekonomiska och politiska faktorer. Problemställningen innehåller således en rad komplicerade samband, vilket accentuerar behovet av en systemorienterad analys av energiförsörjningen. Ett fortsatt systematiskt metod- och modellutvecklande med målsättningen att etablera en datorbaserad dynamisk makrosystemmodell är ett led i analysen [45] och [49]. Mikromodeller av bl a

- . Ny teknologi och teknik i energisystemen
- . Belastningarnas utveckling och karaktär
- . Samhällsutveckling - energibehov
- . Energisystem och bebyggelsestruktur

utgör väsentliga delar av makromodellen. Dessa erfordras för att kunna

utvärdera olika trender och utvecklingar i syfte att söka en sannolik optimal lösning för ett längre tidsperspektiv. En energiplanering baserad på ovanstående utgångspunkter och genomförd enligt intentionerna i Kommunernas energiplanering [3] innehåller en rad problemställningar såsom

- . Planresultat - handlingsprogram
- . Utvärdering av komplexet styrning - besparing
- . Energisystem - samhällsutveckling
- . Prognosmetodik
- . Energitillförsel i framtida energisystem
- . Kalkylmetodik och ekonomi

## 7.2 Modellanpassning

Optimeringsmodellen har utvecklats med sikte på att ingå i kommunernas energiplanering och ge ett utökat beslutsunderlag för den framtida energiförsörjningen. De viktigaste elementen i modellen är därvid optimeringsprocess, prognos, kostnadsfunktioner och känslighetsanalys. De moment som närmast ligger till hands för det framtida utvecklingsarbetet är:

- . Analys av volymen nödvändiga indata med sikte på en anpassning till tillgängligt underlag
- . Utvärdering av vilka modellparametrar som är signifikanta för resultaten i syfte att förenkla modellen
- . En utveckling mot grafisk presentation av områden, energisystem och resultat utgående från datorbaserade kartor

Utvecklingen bör i första hand inriktas mot de två första punkterna, vilket ger en snar användning av modellen. Det senare är mer långsiktigt och bör samordnas med de projekt som pågår i kommunförbundets regi [51], dvs IKF-informationssystem för kommunaltekniska försörjningsnät och KOMB-ADB-system för kommunala mättekniska beräkningar.

## 7.3 Vidgat modellkoncept

De problemställningar som angivits ovan motiverar även ett vidgat modellkoncept. I ett sådant perspektiv finns en rad andra utvecklings-

möjligheter, av vilka några redovisas nedan:

- . Interaktiva planeringsprogram med grafisk presentation
- . En utvidgning av planeringskonceptet till att omfatta stokastisk [42] och dynamisk [43] programmering
- . En introduktion av nya koncept som ekonometriska modeller för att beakta samhällets utveckling [47],[48] och [49]

Utgående från de vunna erfarenheterna beträffande modellutveckling och tillämpning är följande områden särskilt lämpade för det fortsatta arbetet:

*Utvärdering av komplext styrning - besparing*

Belastningsstyrning beskriver en åtgärd för att modifiera belastningen med avseende på besparing och ekonomi såsom:

- . Ändrad taxepolitik
- . Lokal energilagring
- . Besparingsåtgärder
- . Direkt belastningskontroll
- . Uppmuntran av effektuttag under låglasttid

Inverkan av belastningsstyrning är mycket komplex; miljömässiga, politiska och sociologiska frågor gör en kvantitativ "cost-benefit"-analys av alternativa strategier för belastningsstyrning svårhanterlig. Preliminära undersökningar visar på god lönsamhet på kort sikt. Ett systematiskt införande av belastningsstyrning förutsätter ingående analys av de långsiktiga konsekvenserna. Belastningsstyrning kommer att få ökande betydelse i den framtida energiplaneringen och nya utvecklingstrender ger möjlighet till ökad lönsamhet. Sådana trender är:

- . Teknologisk utveckling inom energilagring, kommunikation, omkoppling, mätning och beräkningsapparatur vilket resulterar i en reduktion av kostnader och förbättring av rörlighet, kapacitet och tillförlitlighet
- . Ökande medvetenhet om energins ekonomiska betydelse vid stigande energikostnader
- . Ökande hänsyn till miljö och naturresurser leder till striktare reglering, och därmed dröjsmål och svårigheter att bygga

- nya genererings-, överförings- och distributionsanläggningar
- . Medveten politik att minska beroendet av importerad olja
- . Effektiviserande av anläggningar genom minskade förluster

Detta accentuerar behovet av analyshjälpmedel för att bedöma och värdera olika åtgärder [44] och [50]. Som ett exempel kan den redan utvecklade optimeringsmodellen användas till att grovt uppskatta hur besparingsåtgärder skall värderas jämfört med andra investeringar. Energibesparingar betraktas därvid som ett "energislag" och ges en linjär kostnadsfunktion. En illustration ges i nedanstående exempel. Syftet är enbart att peka på möjliga användningar av modellen och områden för fortsatt utveckling. Både förutsättningar och resultat måste därför ses mot denna bakgrund. Exemplet avser Huddinge kommun och utgår från samma förutsättningar som basfallet i avsnitt 6.2. De övriga förutsättningarna har hämtats från Regeringens energisparplan [2] och är följande:

- . Kostnaderna för besparingar har approximerats till en del-linjär funktion. De första 20% av det totala värmebehovet beräknas kosta 92.6 kkr/MW och de resterande 225.5 kkr/MW. Utnyttjningstiden antas vara 2200 h.
- . Kostnaderna omfattar kapitaltjänst, drift och underhåll av investeringsobjekten

Den resulterande totala årskostnaden blir med utgångspunkt från de givna förutsättningarna ca 12% lägre än basfallet i avsnitt 6.2. Valet mellan energislag redovisas grafiskt i figur 7.1.

De resultat som erhålles pekar på att besparingsåtgärder enligt den lägre kostnaden skall genomföras. Åtgärder enligt den högre kostnaden rekommenderas ej.

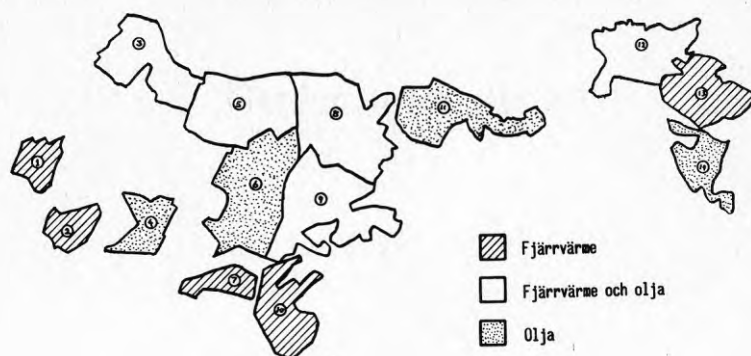


Fig. 7.1 Rekommenderad värmeförsörjning med hänsyn till energibesparingsåtgärder. Elvärme i befintlig bebyggelse redovisas ej.

#### *Energitillförsel i framtida energisystem*

Kommunernas energiförsörjning kommer i framtiden inte att kunna grundas på billiga och lättåtkomliga petroleumprodukter. Försörjningen kommer snarare att grundas på energislag om vilkas konsekvenser en betydande osäkerhet råder. Det är därför viktigt att utveckla metoder för utvärdering av energisystemen tekniskt, ekonomiskt och socialt. Dessa metoder skall inte bara söka den mest ekonomiska lösningen på kort sikt utan också eftersträva teknisk mångsidighet och att undvika låsningar och efterfrågestrukturer, som på lång sikt omöjliggör eller försvårar övergång till nya och bättre teknologier [46].

Parametrar i en sådan systematisk utvärdering är:

1. Korrelation mellan energislagets egenskaper och användarkravet
2. Förmåga att kvantitativt tillgodose behovets dagliga och säsongsmässiga variationer (flexibilitet i tillgänglig energikvantitet)
3. Överensstämmelse i geografisk fördelning mellan tillgång och efterfrågan

4. Kostnader direkt relaterade till den ekonomiska balansen hos energisystemet och den finansiella organisationen
5. Försörjningssäkerhet (livstid, sårbarhet, kontinuitet i tillgång)
6. Oberoende av maktgrupper
7. Teknisk säkerhet
8. Risk för uttömning av den primära energikällan
9. Tillgång till organisationsstruktur för drift och förvaltning
10. Effektivitet i relation till produktionsnivån
11. Inverkan på andra samhällsfunktioner (återvinning, nedsmutsning etc)
12. Inverkan på samhällsstrukturen (förändring av samhällsbyggnaden)
13. Substitutionsmöjlighet mot andra energislag



## REFERENSER

1. Lag om kommunal energiplanering, SFS 1977:439, samt förordning om kommunal energiplanering, SFS 1977:440
2. Energisparplan för befintlig bebyggelse, Regeringens proposition 1977/78:76
3. Kommunernas energiplanering, Svenska Kommunförbundet, 1977
4. Kommunplanering, Svenska Kommunförbundet, 1974
5. Kommunplanering, K-Kontur, nr 1-2, 1975
6. Lag om allmänna fjärrvärmeanläggningar, SFS 1976:838
7. Åtta punkter för kommunens energiplanering. En presentation av KE-gruppens checklista för kommunal energiplanering, F Larsson, Kommunal Tidskrift, nr 14, 1974
8. Folk- och Bostadsräkning (FoB 1975), Statistiska centralbyrån, 1975
9. Information om specialprogrammet för kommuner vid Folk- och Bostadsräkningen 1975 (FoB 1975), Statistiska centralbyrån, PM 1975-05-23
10. DEMOPAK - ett statistikpaket för demografisk information för regional och lokal planering, Statistiska centralbyrån, 1976-06-30
11. Nyckelkodssystemet, områdesindelning och statistisk redovisning för kommunal och regional planering, Statistiska centralbyrån, PM 1975-09-10
12. Regional electric power system planning using mixed linear programming, Y Backlund & J Bubenko, Proceedings IFAC, Cairo, 1977
13. Verfahren zur mittel- und langfristigen Prognose von Belastungscharakteristiken in der Elektrizitätswirtschaft, M Recker, RWE internal report, Essen, Västtyskland

14. Belastning av kablar, B Bjurström, Svenska elverksföreningens handlingar, nr 15, 1976
15. Optimeringsmodell för översiktlig kommunal energiplanering, C Mattsson, Prognosmodell, Tekniska Högskolan, Stockholm, 1977
16. The demand for electricity: A survey, L D Taylor, The Bell Journal of Economics, Vol. 6, No 1, pp 74-110, Spring 1975
17. The effect of prices and economic growth on consumers energy requirements, T A Boley & M A Walker, 9th World energy conference, Detroit, September, 1974
18. Statistical load analysis for distribution network planning, Z Fikri, Thesis, The Royal Institute of Technology, Stockholm, 1975
19. Power system planning, R L Sullivan, McGraw-Hill, 1977
20. Power system control, M J H Sterling, Peter Pelegrinus Ltd, 1978
21. Tätorternas och den tunga industrins energiförsörjning, SIND 1976:3
22. Prototyper och demonstrationsanläggningar för bättre energihushållning, SIND 1978:6
23. Industrins Energihushållning, SIND 1976:6
24. Energi, Betänkande av energikommissionen, SOU 1978:17
25. Energihushållning, Huvudrapport från expertgruppen för energihushållning, Ds I 1977:10
26. Styrmedel för en framtida energihushållning, Huvudrapport från expertgruppen för styrmedel, Ds I 1977:15
27. Energi till byggnader 1975-2000, N L Lindskoug, T9:77
28. Värmeplan 1974, Huddinge kommun
29. Energitillförsel: Grundtyper och typexempel, Rapport från expertgruppen för tillförsel, Ds I 1978:10

30. Dimensionering av eldistribution i tätorter; Kommittérapport och kostnadskatalog. Svenska Elverksföreningen
31. Kraftvärme 1975, Svenska Värmeverksföreningen
32. CDL/VVF-Studien 1973-1976: Rapport från arbetsgrupp 1 och 2, 1976
33. Energitillförsel, Grunder och typexempel, Huvudtext, Rapport från expertgruppen för tillförsel, Ds I 1978:9
34. Integer programming by implicit enumeration and Bala's method, A M Geoffrion, SIAM Review, vol 9, pp 178-190, 1967
35. Introduction to linear and nonlinear programming, D G Luenberger, Addison-Wesley, Reading, 1973
36. Exact solution of the fixed charge transportation problem, P Gray, Operations Research, Vol 19, No 6, 1971
37. Convergence of the bounded fixed charge programming problem, C Tiplitz, Naval Research Logistics Quarterly, Vol 20, No 3, 1973
38. The fixed charge problem, D Steinberg, Naval Research Logistics Quarterly, Vol 17, No 3, 1970
39. An improved implicit enumeration approach for integer programming, A M Geoffrion, Operations Research, No 17, 1969
40. Integer and mixed programming theory and application, A Kaufman, A Henry-Labordère, Academic press, 1977
41. Värmeplan för Botkyrka, Botkyrka kommun, 1975
42. Probabilistic programming, S Vajda, Academic Press, 1972
43. The art and theory of dynamic programming, S E Dreyfus, A M Law, Academic Press, 1977
44. A financial model for the electric utility industry, R R Reilly, Working paper No 101, The University of Michigan, 1975
45. The Wisconsin regional energy modell: A system approach to regional energy analysis, J L Pappas et al, Energy Systems and Policy Research Group, Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin-Madison, 1975

46. Transition towards integrated energy systems at community level, D Drouet, Centre de Recherche d'Urbanisme, Paris, 1978
47. Energy input-output modelling: Problems and prospects, EPRI-report EA-298, Project 208-1, November, 1976
48. Kartläggning av FoU-behovet inom programområdet Elektrisk energiproduktion, Forskningsgruppen för elektriska energisystem, Tekniska högskolan, Stockholm, 1977
49. Energy, economic and ecological relationships for Gotland, Sweden, A regional study, A-M Jansson, J Zucchetto, Ecological Bulletins 28, 1978
50. Computer-assisted financial models in electric power companies, H Tröscher, UNIPED, Madrid, 1974
51. Hur går ledningarna? Kartläggning behövs, U Leopoldson, G Pellbäck, Kommun-aktuellt, nr 23, 1978

## PROGNOSFUNKTIONER

Efterfrågeutvecklingen för varje kategori och belastningstyp kan beskrivas med en normal stokastisk process med väntevärdesfunktion och kovarianskärna, dvs

$$E(t) = E_{\xi}(t) = E\{\xi(t)\}, \quad t \in T$$

och

$$K(s,t) = K_{\xi}(s,t) = \text{Kov}[\xi(s), \xi(t)] \quad s, t \in T \quad (1)$$

där

$E(t)$  Väntevärdesfunktion som beskriver energiförbrukningens utveckling

$K(s,t)$  Kovarianskärna

Dessa är bestämda enligt följande

$$\mu(t) = E(t) = E\{\xi(t)\} = f(t) \cdot \mu_0 \quad (2)$$

och

$$K(t,t) = \text{Var}\{\xi(t)\} = \sigma^2(t) = (g(t) \cdot \sigma_0)^2 \quad (3)$$

samt

$$K(t_0, t_0) = \text{Kov}\{\xi(t_0), \xi(t_0)\} = \sigma_0^2 \quad (4)$$

där

$\mu_0$  Väntevärdet för en realisering av processen vid tiden  $t = t_0$

$\sigma_0$  Standardavvikelsen för en realisering av processen vid  $t = t_0$

$f(t), g(t)$  Funktioner som beskriver utvecklingen och kan ha bestämts med hjälp av tidsserieanalys eller dylikt

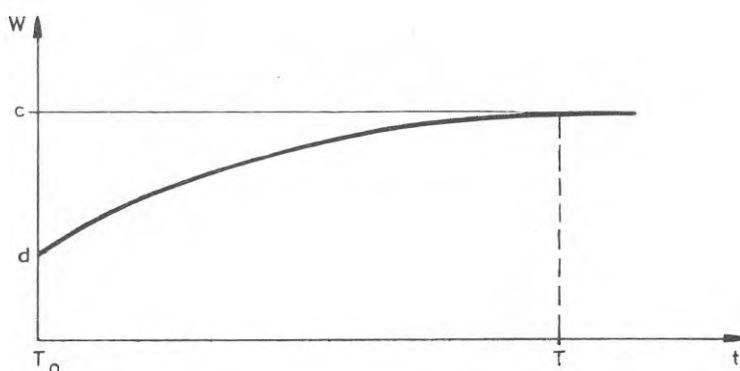
I den fortsatta framställningen användes endast  $f(t)$  vilken får symbolisera både  $f(t)$  och  $g(t)$  beroende på sammanhanget.

De funktioner som i första hand kan komma till användning vid en beskrivning av efterfrågeutvecklingen är

- Exponentiell mättnadsfunktion
- Linjär funktion med positiv eller negativ lutning
- Exponentiell funktion
- Stegfunktioner

Med utgångspunkt från dessa funktioner kan medelvärde och varians beräknas för prognosperiodens slut enligt följande:

#### Exponentiell mättnadsfunktion



- $T_0$  Prognosperiodens inledning  
 $T$  Prognosperiodens slut  
 $c$  Mättnadsvärde  
 $d$  Värde vid början av prognosperioden

Funktionen har följande utseende

$$F(t) = c(1 - e^{-bt}) \quad (5)$$

där

$c$  och  $b$  kan bestämmas med hjälp av tidsserieanalys och minsta kvadratmetoden. Alternativt kan  $c$  uppskattas, vilket tillsammans med värdet  $d$ , dvs  $\mu_0$  vid prognosperiodens inledning, ligger till grund för beräkning av  $b$ . Vilket ger

$$\mu(t) = f(t) \mu_0 = c(1 - e^{-\frac{\ln(\frac{c}{c - \mu_0})}{T_0} t}) \quad (6)$$

och

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \left[ \frac{c}{\mu_0} \left( 1 - e^{-\ln\left(\frac{c}{c - \mu_0}\right) \frac{t}{T_0}} \right) \right] \quad (7)$$

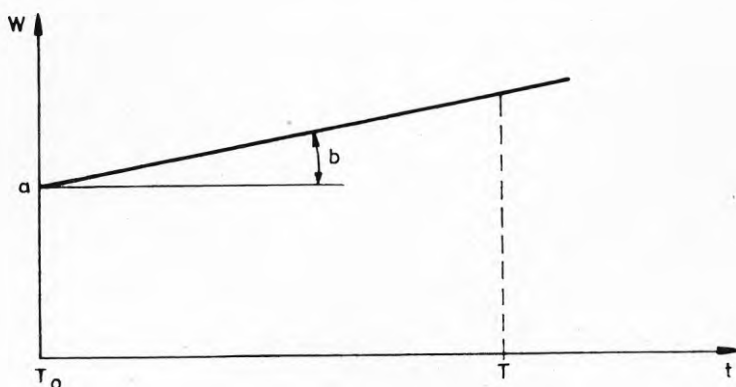
I det fall  $\mu_0$  och  $b$  är kända erhålls

$$\mu(t) = \frac{\mu_0}{1 - e^{-bT_0}} [1 - e^{-bt}] \quad (8)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \frac{1}{1 - e^{-bT_0}} [1 - e^{-bt}] \quad (9)$$

En härledning av ekvationerna ges i rapporten Prognosmodell, [15] i referenslistan.

#### Linjär funktion



$T_0$  Prognosperiodens inledning

$T$  Prognosperiodens slut

$a$  Värde vid prognosperiodens inledning

$b$  Efterfrågeutveckling på årsbas vilken kan vara positiv eller negativ



Funktionen har följande utseende

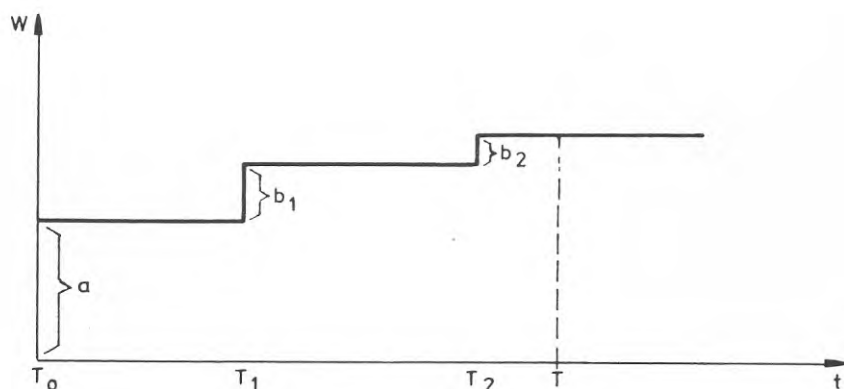
$$F(t) = a(1 + bt) \quad (10)$$

A och b kan bestämmas på samma sätt som med minsta kvadratanpassning eller med bedömningar av utvecklingen under prognosperioden. Enligt ekv. 1 och 2 kan  $\mu(t)$  och  $\sigma(t)$  bestämmas enligt följande

$$\mu(t) = f(t) \mu_0 = \mu_0(1 + bt) \quad (11)$$

$$\sigma(t) = f(t) \cdot \sigma_0 = \sigma_0(1 + bt) \quad (12)$$

### Stegfunktion



$T_0$  Prognosperiodens inledning

$T$  Prognosperiodens slut

$a$  Funktionsvärde vid början av prognosperioden

$b_1, b_2$  Steg som beskriver t ex utbyggnadsetapper i en större industri

$A$ ,  $b_1$  och  $b_2$  bestäms genom kvalificerade bedömningar och funktionen får följande utseende

$$F(t) = a + b_1 H(t - T_1) + b_2 H(t - T_2) + \dots + b_n H(t - T_n) \quad (13)$$

där

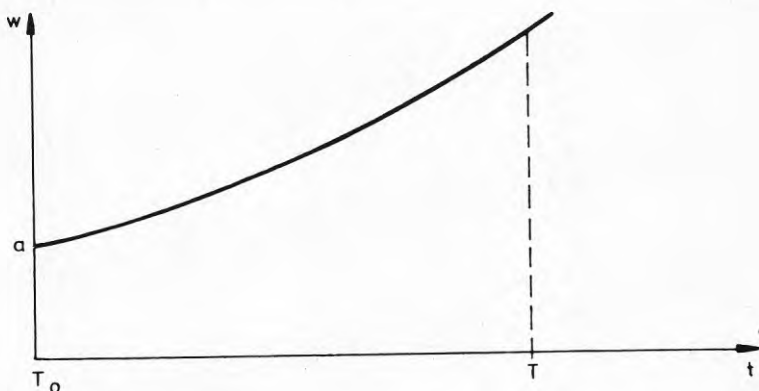
$b_n$  N:te steget i stegfunktionen  
 $H(t)$  Heaviside's stegfunktion

Enligt ekvation 1 och 2 kan följande samband ställas upp

$$\mu(t) = f(t)\mu_0 = \mu_0(1 + b_1H(t - T_1) + \dots + b_nH(t - T_n)) \quad (14)$$

$$\sigma(t) = f(t)\sigma_0 = \sigma_0(1 + b_1H(t - T_1) + \dots + b_nH(t - T_n)) \quad (15)$$

### Exponentiell kurva



- $T_0$  Prognosperiodens inledning
- $T$  Prognosperiodens slut
- $a$  Funktionsvärde vid början av prognosperioden
- $b$  Lutningsförändringen mellan två på varandra följande år

$A$  och  $b$  bestäms på motsvarande sätt som tidigare dvs med kurvanpassning eller kvalificerade bedömningar. Funktionen har följande utseende:

$$F(t) = a(1 + b)^{(t-T_0)} \quad (16)$$

Beräkning av  $\mu(t)$  och  $\sigma(t)$  ger med hänsyn till ekv. 1 och 2 följande

$$\mu(t) = \mu_0 f(t) = \mu_0 (1 + b)^{(t-T_0)} \quad (17)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 f(t) = \sigma_0 (1 + b)^{(t-T_0)} \quad (18)$$

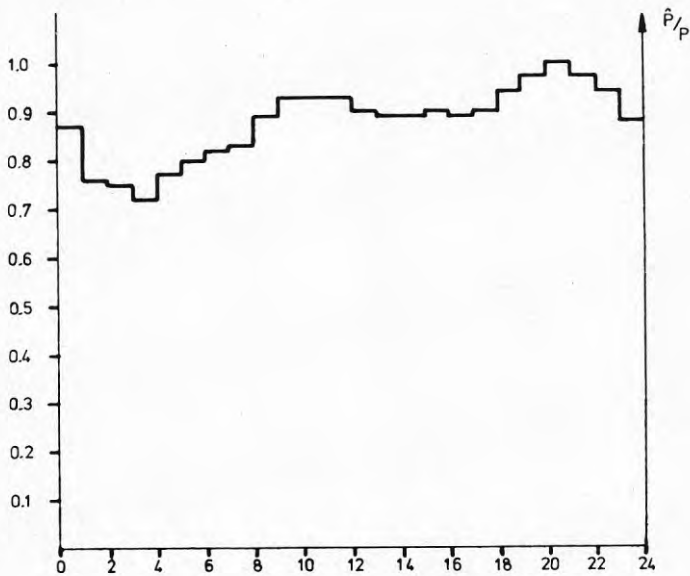
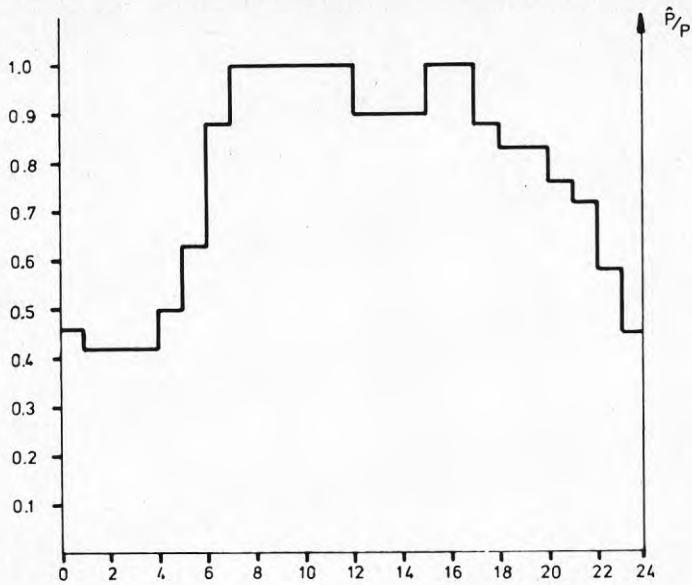
Område	Bostäder				Industri		Övrigt
	Max. tillk.		Prognos 10 år		Resterande		
	lgh.	småhus	enheter	lgh.	småhus	enheter	
						10 år	
						Prognos	
						10 år	
						(m <sup>2</sup> )	
						(m <sup>2</sup> )	
Vårby	2900	40	180	-	170	10	45000
Masmo	735	40	1980	1000	915	65	12500
Segeltorp	60	1450	1065	40	470	555	50000
Glömsta	-	240	360	-	320	40	-
Snättringe	175	1515	1380	-	990	390	-
Fullersta	50	1620	1285	-	425	860	-
Västra	2105	10	1725	450	300	975	70000
Stuvsta	900	1885	770	200	365	205	51000
Huddinge	2360	1465	1340	500	465	340	60000
Östra	1690	-	3000	-	250	2750	23000
Flemmingsberg							
Stora	-	135	1610	-	125	1485	-
Mellansjö							
Trångsund	1895	540	1385	-	160	1225	52000
Skogsås	3035	65	2430	1100	1260	70	39000
Länna	-	125	1055	-	120	935	-
	15905	9085	19565	3290	6335	9905	402500
						100000	

Områdesinventering av Huddinge kommun (ur Värmeplan för Huddinge kommun [28]). För industri och övrigt gäller att prognosen avser totala antalet m<sup>2</sup> vid prognosperiodens slut. I övrigt, se kapitel 6.1.

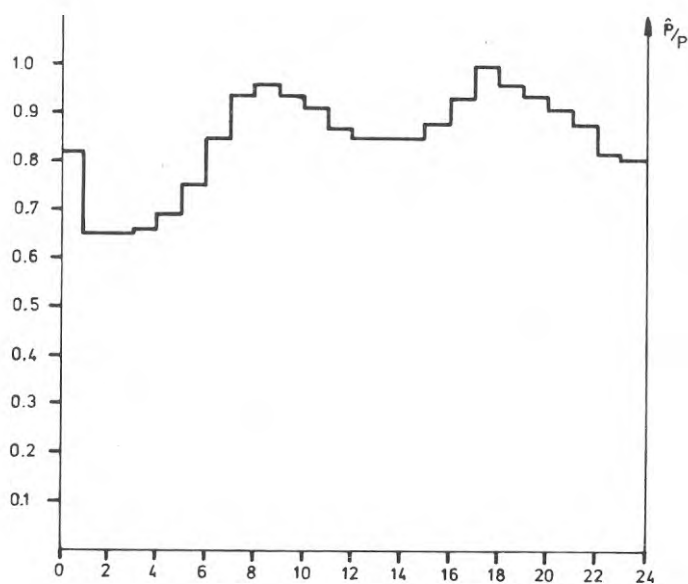
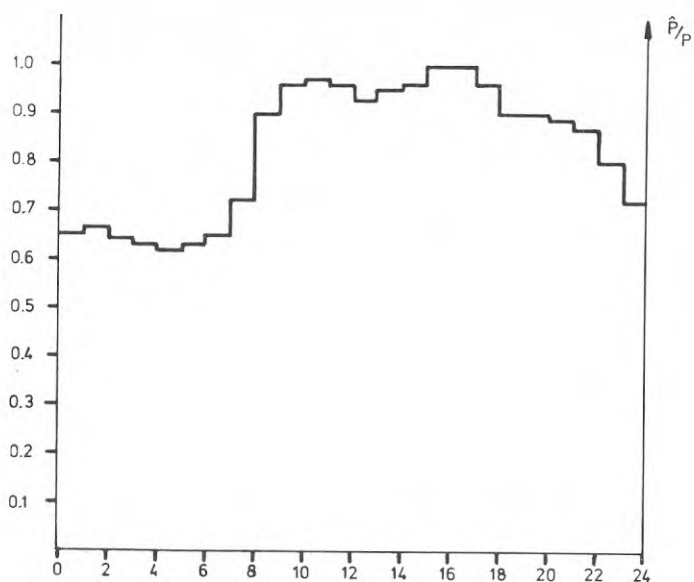
Område	Befintlig bebyggelse			övrigt (m <sup>2</sup> )	Tillkommande bebyggelse			övrigt (m <sup>2</sup> )
	småhus	lgh	industri (m <sup>2</sup> )		småhus	lgh	industri (m <sup>2</sup> )	
N:a Botkyrka	2515	10780	0	123000	390	390	0	200000
Hammarby	110	-	-	-	15	-	-	-
Tullinge	190*	-	-	-	185	-	-	-
Lanthem	760	80	-	8000	90	-	-	-
Tullingeberg	201	940	31500	24000	670	1370	30000	16000
Skårda1	395*	40	-	-	40	-	-	-
Vårsta	440	280	6500	12000	40	-	-	-
Uttran	905	-	-	8000	210	-	-	-
Kassmyra	310	-	1500	4000	245	-	-	-
Falken	305	2185	9200	-	375	-	17000	4000
Hamra	-	-	97000	124000	-	-	83000	5400
Tumba C	40	2319	30000	49000	420	100	33000	33000
Salem	2105	1466	-	60000	1935	1342	-	50000
Rönninge	694*	37	-	18000	848	85	-	6000

\*inkluderar fritidshus

Inventering av bebyggelsen i Botkyrka kommun. Uppgifterna hämtade ur kommunens värmeplan [41].



Dygnsvariationskurvans form för industri och övrig belastning. Kurvan överst avser el exklusive värme och den underst avser värmebelastning.



Dygnsvariationskurvans form för småhus och lägenheter. Den övre kurvan avser hushållsel och den undre värme.















**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750713-6 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för elektrisk  
anläggningsteknik, KTH**

**R73:1979**

**ISBN 91-540-3039-0**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600973**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**